

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

Departamento de Geografía Humana



TESIS DOCTORAL

Cambios de usos del suelo y simulación de escenarios en la Comunidad de Madrid

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Marta Gallardo Beltrán

Directores

Francisco Javier Martínez Vega
Consuelo del Canto Fresno

Madrid, 2014

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

Departamento de Geografía Humana



Tesis Doctoral

**Cambios de usos del suelo y simulación de
escenarios en la Comunidad de Madrid**

**Análisis de tres décadas de transformación territorial y
proyección futura**

Presentada por:

Marta Gallardo Beltrán

Bajo la dirección de:

Dr. Francisco Javier Martínez Vega

Dra. Consuelo del Canto Fresno

Madrid, 2013

“La cartografía, como la cognición misma, es una simplificación necesaria que nos permite ver dónde estamos y hacia dónde nos dirigimos”

Samuel P. Huntington

“Un modelo es, sin duda, una representación de la realidad, cuya aplicación o uso, sólo se justifica para llegar a conocerla, es decir, como hipótesis de trabajo sujeta a verificaciones”

Milton Santos

“Los cambios ambientales, al igual que la muerte y los impuestos, son una de las pocas certidumbres en la vida”

Peter Haggett

AGRADECIMIENTOS

Realizar una tesis doctoral supone un largo camino, de cantos rodados y berrocales, que acaba en el horizonte. Mientras se pasea sobre él, a veces en soledad, otras veces acompañado, hay momentos de euforia, pero también momentos de dificultad, de detenerse al encontrar obstáculos y, en ocasiones, de echarse atrás y regresar por el camino andado.

El comienzo es complicado. Por citar algunos ejemplos, en los primeros meses de este trabajo, el área de estudio estaba delimitada por la provincia de Cuenca, la cual fue sustituida más tarde por la Comunidad de Madrid. Se comenzó a trabajar con el Mapa Digital Continuo de Vegetación de la Comunidad de Madrid del año 2006, el cual fue suspendido cuando se publicó el mapa CORINE Land Cover (CLC) del mismo año, para utilizar éste último en su lugar. El nivel de detalle 4 de la leyenda CLC fue desechado meses después de trabajar con él, debido a la imposibilidad de representar tal detalle gráfica y cartográficamente y a que CLC 2006 solo estaba detallado a nivel 3. Durante la realización de diversos análisis y, en especial, durante la elaboración de los escenarios a futuro, las preguntas sin respuestas se acumulaban.

Todas esas dificultades (y otras no mencionadas), para que lleguen a buen puerto, nunca son obra de uno solo sino del concurso de muchos. Es, por ello, esencial y, aunque sea de manera sucinta, reseñar el reconocimiento de todos aquellos que ayudaron a gestar lo que aquí se lee y que si no están nominalmente no son menos importantes, pues su ayuda fue determinante para sumar en esta travesía.

En primer lugar, agradecer a los directores de esta tesis, a Javier Martínez Vega y a Consuelo del Canto, por sus consejos, aportaciones y orientación, sin olvidar las oportunidades ofrecidas para continuar formándome y adquiriendo experiencia. A veces la soledad resulta un pesado compañero de viaje, pero sin su presencia en esta labor las cosas no hubieran transitado por el territorio que lo hicieron.

Tengo que hacer extensivo mi profundo y sincero agradecimiento en dicha labor orientativa a la decisiva contribución y a la gran acogida que me han brindado Peter Verburg, de la Universidad VU de Ámsterdam, y Gil Pontius, así como Ron Eastman, James Toledano y Florencia Sangermano, de Clark Labs y de la Universidad de Clark, en Worcester, Massachusetts (USA). Sus aportes y enseñanzas han sido fundamentales en el trabajo realizado.

Asimismo, a lo largo de estos años han sido muchos los compañeros que han sumado para crear un ambiente de cooperación y trabajo, de todos he aprendido algo y me han ayudado a continuar. En especial mencionar el apoyo y las contribuciones realizadas por Pilar Martín y por Pilar Echavarría, así como la ayuda y disposición de Javier Pacheco, Lara Vilar y Gorka Mendiguren.

Y por último, pero no menos importante, mi agradecimiento para Juana, Tomás y David, si cabe indispensables e insustituibles en todos los afanes y desvelos que concurren en la larga senda de la vida académica e investigadora de un doctorando. Por aguantar mis berrinches y por ser faro y luz en los momentos de oscuridad, porque al caer siempre debe haber alguien que nos levante.

Este trabajo no hubiese sido posible sin la financiación por parte del CSIC, gracias al disfrute de una beca pre-doctoral JAE; debo agradecer también la financiación obtenida para llevar a cabo las estancias en el extranjero mencionadas ya que, sin ellas, este trabajo habría tenido un resultado incierto. Agradecer también a los proyectos en los que he participado y colaborado durante todos estos años: BIOSPEC (CGL2008-02301) y FUME (FP7-ENV-2009-1-243888).

ÍNDICE

Resumen	7
<i>Abstract</i>	11
CAPÍTULO 1. HIPÓTESIS, OBJETIVOS Y ESTRUCTURA DE LA TESIS	17
1.1 Introducción	17
1.2 Hipótesis de partida	19
1.3 Objetivos	19
1.4 Estructura de la tesis	21
CAPÍTULO 2. ÁREA DE ESTUDIO	25
2.1 Introducción	25
2.2 Breve descripción del área de estudio	25
2.3 La ordenación territorial y urbana en la Comunidad de Madrid	32
2.3.1 Introducción	32
2.3.2 Antecedentes históricos	33
2.3.3 La planificación regional desde mediados del siglo XX hasta 1980	33
2.3.4 La planificación regional a partir de 1980	36
2.4 La Comunidad de Madrid desde la perspectiva de los cambios de usos del suelo	47
2.4.1 Introducción	47
2.4.2 Antecedentes históricos	48
2.4.3 Desde la década de los 80 hasta principios del siglo XXI	52
2.4.4 La crisis económica de 2007	70
2.5 Conclusiones	73
CAPÍTULO 3. ANTECEDENTES Y ESTADO DE LA CUESTIÓN	77
3.1 Introducción	77
3.2 El desarrollo de los análisis y modelos de cambios de usos y cubiertas del suelo	84

3.2.1 Introducción	84
3.2.2 Estudios previos y su importancia.....	85
3.2.3 Métodos y modelos de cambios de usos y cubiertas del suelo	92
3.3 El desarrollo de modelos de simulación de usos y cubiertas del suelo	100
3.3.1 Introducción	100
3.3.2 Estudios previos y su importancia.....	102
3.3.3 Métodos y modelos de simulación a futuro.....	106
3.3.4 Calibración y validación de los modelos a futuro	109
3.4 Sobre los errores en la cartografía y su implicación en los análisis de usos del suelo	118
3.5 Conclusiones.....	124
CAPÍTULO 4. FUENTES DE DATOS Y METODOLOGÍA GENERAL DE TRABAJO	129
4.1 Introducción.....	129
4.2 Fuentes de datos espaciales y temporales	130
4.3 Metodología general de trabajo.....	134
4.3.1 Mapa de vegetación y usos del suelo de la Comunidad de Madrid, 1982.....	134
4.3.2 Mapas CORINE Land Cover	139
4.3.3 Otro tipo de información cartográfica.....	140
CAPÍTULO 5. CAMBIOS DE USOS DEL SUELO EN LA COMUNIDAD DE MADRID ENTRE 1982 y 2006	141
5.1 Introducción.....	141
5.2 Metodología.....	142
5.2.1 Matrices de tabulación cruzada	143
5.2.2 Mapas de cambio.....	144
5.2.3 Análisis de frecuencias de cambios	144
5.2.4 Análisis de intensidad	146
5.2.5 Análisis de inestabilidad temporal.....	149

5.2.6	Análisis de agregación categórica	150
5.2.7	Corrección de errores encontrados en la cartografía	153
5.3	Resultados	155
5.3.1	Evolución de los usos del suelo en los años 1982, 1990, 2000 y 2006	155
5.3.2	Cuantificación y localización de los cambios entre pares	163
5.3.2.1	Cambios de usos del suelo entre 1982-1990	164
5.3.2.2	Cambios de usos del suelo entre 1990-2000	177
5.3.2.3	Cambios de usos del suelo entre 2000-2006	189
5.3.2.4	Cambios de usos del suelo entre 1982-2006	201
5.3.3	Frecuencias de cambios en los años 1982, 1990, 2000 y 2006 .	213
5.3.4	Análisis de intensidad	223
5.3.4.1	A nivel de intervalo	223
5.3.4.2	A nivel de categoría.....	224
5.3.4.3	A nivel de transición	227
5.3.4.4	Periodo global de estudio, 1982-2006.....	231
5.3.5	Análisis de inestabilidad temporal.....	236
5.3.5.1	A nivel 2 de CLC	236
5.3.5.2	A nivel 3 de CLC	238
5.3.5.3	Estabilidad temporal con los datos utilizados	239
5.3.6	Análisis de agregación categórica	241
5.3.7	Corrección de los errores encontrados en la cartografía	249
5.4	Conclusiones.....	257
CAPÍTULO 6. SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE USOS DEL SUELO A FUTURO EN LA COMUNIDAD DE MADRID		261
6.1	Introducción.....	261
6.2	Metodología.....	263
6.2.1	Definición de los modelos empleados.....	263

6.2.1.1 CLUE.....	263
6.2.1.2 LCM de IDRISI	265
6.2.2 Diseño e implementación de los modelos.....	267
6.2.2.1 Definición de las categorías de usos del suelo.....	267
6.2.2.2 Variables explicativas de los usos del suelo.....	269
6.2.2.2.1 CLUE y regresión logística	273
6.2.2.2.2 LCM y MLP	274
6.2.2.3 Legislación	276
6.2.2.4 Definición de los diferentes escenarios (<i>storylines</i>).....	278
6.2.2.4.1 Escenario de trayectoria lineal.....	278
6.2.2.4.2 Escenario de recesión económica	279
6.2.2.4.3 Escenario verde	280
6.2.2.5 Configuración de los diferentes escenarios.....	281
6.2.3 Calibración de los modelos y validación de los resultados	285
6.3 Resultados	287
6.3.1 Trayectoria pasada de los usos del suelo	287
6.3.2 Influencia de las variables explicativas (<i>driving factors</i>).....	289
6.3.2.1 CLUE: regresión logística	291
6.3.2.2 LCM: MLP	294
6.3.3 Calibración de los modelos.....	297
6.3.4 Validación de los modelos	301
6.3.5 Escenarios finales.....	311
6.3.5.1 Escenario de trayectoria lineal	311
6.3.5.2 Escenario de recesión económica.....	317
6.3.5.3 Escenario verde	318
6.3.6 Comparación de los diferentes escenarios realizados.....	323
6.4 Implicaciones.....	344

6.5 Conclusiones.....	349
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO	353
7.1 Conclusiones generales	353
7.2 Posibles líneas futuras de trabajo	359
CHAPTER 7. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK	363
Bibliografía.....	367
Anexos	393
Anexo 1. Fuentes cartográficas utilizadas en este trabajo.....	393
Anexo 2. Nomenclatura oficial de las categorías CORINE Land Cover a nivel 2 y 3.....	403
Anexo 3. Matrices de tabulación cruzada a nivel 3 de CLC en hectáreas y en porcentajes, para todos los periodos de estudio	405
Anexo 4. Descripción detallada del software utilizado para realizar las simulaciones de escenarios a futuro	413
Anexo 5. Restricciones de usos del suelo utilizadas en la elaboración de los mapas de simulación a futuro	423
Anexo 6. Ejemplo de cuestionarios realizados para la elaboración del escenario de recesión económica	431
Anexo 7. Mapas de usos del suelo con leyenda CORINE Land Cover, a nivel 2 y 3, con corrección de errores. Años 1982, 1990, 2000 y 2006	445
Anexo 8. Mapas de usos del suelo con leyenda utilizada para la realización de los escenarios. Años 1990, 2000 y 2006	455

RESUMEN

Los cambios en la ocupación o en los usos del suelo juegan un papel fundamental en el desarrollo económico y social a escala local y regional, así como en la sostenibilidad regional. El estudio de la evolución que se ha producido a lo largo del tiempo de dichos cambios permite el análisis de procesos medioambientales y de problemas que han podido darse, como pueden ser desarrollos urbanísticos descontrolados, deterioro de la calidad ambiental, fragmentación de hábitats, etc.

Los modelos de cambios de usos representan parte del complejo sistema de la tierra. Son una herramienta de aprendizaje para desentrañar los factores explicativos y las dinámicas del sistema y sirven también para explorar la sensibilidad de los patrones de usos a cambios definidos por unas determinadas variables biofísicas, socio-económicas y espaciales (Veldkamp y Lambin, 2001; Verburg et al., 2006a).

Juegan, además, un importante papel en explorar posibles desarrollos futuros; mediante el modelado del funcionamiento del sistema se puede explorar “qué pasaría si”, a través de diferentes escenarios; esto permite evaluar la influencia de alternativas políticas o regímenes de uso de la tierra, ya que la configuración de los usos del suelo puede ser resultado de una decisión política o de la evolución de la sociedad (Henríquez et al., 2006; Verburg et al., 2006a).

La elaboración de escenarios futuros permite, por tanto, descubrir el efecto que puede provocar, en los usos del suelo, perpetuar la evolución que se ha mantenido durante los años pasados y qué pasaría si dichas pautas son modificadas. Así, los escenarios de usos del suelo pueden ser tomados como una potente herramienta o un instrumento en el que apoyarse para diseñar futuras ordenaciones del territorio.

El presente trabajo aborda el estudio y el análisis de los cambios de usos del suelo que se han sucedido en la Comunidad de Madrid (CM) en casi tres décadas (entre los años 1982 y 2006), así como la realización de modelos de simulación de usos del suelo a futuro (para el año 2025) bajo diferentes escenarios que puedan servir como herramienta en la planificación territorial de la región. El objetivo es mostrar qué cambios y trayectorias se han dado en el pasado y mostrar posibles cambios de usos del suelo que pueden darse en el futuro próximo dependiendo de diferentes trayectorias que puede seguir la región.

Esta investigación centra también su atención en la detección de posibles errores presentes en la cartografía de base y en las implicaciones que éstos pueden. Conocer la precisión de los datos con los que se trabaja y los errores que éstos contienen es fundamental a la hora de llevar a cabo este tipo de estudios, ya que de ellos dependerá el resultado y la rigurosidad del mismo.

Este trabajo se basa, fundamentalmente, en cuatro mapas de usos del suelo de cuatro fechas diferentes; éstos son: el Mapa de vegetación y usos del suelo de la Comunidad de Madrid, del año 1982, y los tres mapas CORINE Land Cover (CLC) de los años 1990, 2000 y 2006. Igualmente, para la elaboración de los escenarios, se ha hecho uso de información cartográfica auxiliar, como son: mapas de zonificaciones de diferentes espacios naturales protegidos, mapas de montes preservados y de utilidad pública, mapa de clasificación y calificación de usos del suelo de la Comunidad de Madrid, mapa geológico, modelo digital de elevaciones, por nombrar algunos.

Los análisis de cambios de usos del suelo han sido llevados a cabo utilizando diferentes técnicas y modelos. Se han realizado matrices de tabulación cruzada, análisis de ganancias, pérdidas e intercambios y mapas de localización de dichos cambios. Éstos han sido realizados utilizando el módulo Land Change Modeler (LCM) del software IDRISI, versiones Taiga y Selva, y el software ArcGIS, versiones 9.3 y 10. Los análisis han sido realizados entre pares temporales, es decir, entre 1982-1990, 1990-2000 y 2000-2006, y para todo el periodo de estudio, 1982-2006, y han sido trabajados tanto a nivel 2 de CLC, con 13 categorías de usos del suelo diferentes, como a nivel 3 de CLC, con 30 categorías.

Mediante las matrices de tabulación cruzada y el cruce de los mapas de usos del suelo entre pares también se analizaron los errores cartográficos que se detectaron en cada uno de los mapas utilizados, los cuales fueron posteriormente corregidos mediante el análisis visual de cada uno de los errores y la superposición de éstos con imágenes aéreas u otrofotografías.

Se ha hecho uso también de otras técnicas para llevar a cabo análisis de frecuencias de cambios, análisis de intensidad, análisis de inestabilidad temporal y análisis de agregación categórica.

Para llevar a cabo las tres simulaciones a futuro, con el objetivo de mostrar qué es lo que podría pasar en un futuro próximo si se continuase con la tendencia detectada en el pasado, o si, por el contrario, dicha tendencia fuese alterada debido a la situación económica que atraviesa el país o dependiendo de diferentes políticas y planificaciones que puedan llevarse a cabo, se ha hecho uso del software CLUE. Para ello, se ha realizado una reclasificación a partir de las categorías de CLC a nivel 3, contando así, únicamente, con siete categorías de usos del suelo. Asimismo, se ha utilizado el módulo LCM de IDRISI para la elaboración de un escenario de trayectoria lineal, con el objetivo de comparar los dos software: sus semejanzas, diferencias y los resultados que cada uno de ellos proporciona. Combinar dos software de simulación permite alcanzar unos resultados más plausibles y verosímiles, así como enfatizar los posibles procesos que pueden ocurrir en el futuro próximo.

Los resultados obtenidos han sido validados utilizando diferentes técnicas, tanto estadísticas como visuales, y a nivel de pixel y de resolución múltiple, con el objetivo de obtener un mayor conocimiento sobre la fiabilidad de los resultados obtenidos.

Los resultados muestran que la CM ha registrado importantes transformaciones territoriales y, por ende, numerosos cambios de usos del suelo desde mediados de los años 80, localizados por todo su territorio de forma intensa y asociados, en los últimos decenios, a la malla de carreteras.

Se ha asistido a una eclosión de la urbanización que, junto a la red viaria y otras infraestructuras de transporte, ha vivido una explosión sin parangón en el tiempo y en el espacio de la historia de la región.

Durante todos estos años, la política de ordenación territorial en la CM y en el Municipio de Madrid ha estado enfocada en el urbanismo. El aumento de áreas artificiales que se ha dado, se ha producido de forma muy artificial, desvinculado de la evolución demográfica de la región.

El intenso crecimiento del tejido urbano ha derivado en un reforzamiento de la metrópoli, pero también en una notable dispersión de zonas urbanas por toda la región, afectando incluso a los espacios naturales protegidos y ocasionado una pérdida masiva de tierras agrícolas. Este crecimiento en forma de *sprawl* tiene un impacto directo sobre la biodiversidad, ya que está relacionado con la fragmentación de hábitats y la aparición de infraestructuras y de diferentes actividades cerca de áreas con alto valor ambiental.

Las infraestructuras de transporte han experimentado un crecimiento importante también, no sólo con la construcción de nuevos viales de carreteras, como han sido las autovías de circunvalación (M-45, M-50) o las radiales (R-2, R-3, R-4, R-5), sino también con la enorme ampliación del aeropuerto de Barajas, el cual conlleva no solo la construcción del mismo, sino también un crecimiento urbano en su área de influencia asociado a la actividad aeroportuaria y a la logística. El trazado de infraestructuras de transporte ha ocasionado también una fragmentación del medio natural.

Las tierras de labor y otros usos agrícolas viven una decadencia evidente y han sido los que más superficie han perdido durante estas décadas, siendo sustituidas por los usos artificiales y también por matorrales y pastizales, al haber sido abandonados.

Los usos forestales, en especial los bosques, parecen mostrar una estabilidad durante todos estos años en cuanto al total de superficie que representan; sin embargo, han registrado altas tasas de intercambio, lo que demuestra que es un uso del suelo que ha tenido una alta actividad de cambio.

En cuanto a las simulaciones a futuro elaboradas, el escenario de trayectoria lineal mostraría la gran artificialización que experimentaría la CM en el año 2025 si continuase con la tendencia registrada en los años pasados, debido a un amplio crecimiento del uso urbano y del uso industrial y comercial; este crecimiento se extendería, de forma compacta, en los alrededores de la metrópoli y siguiendo las principales vías de transporte. En el escenario de recesión económica, el crecimiento de los usos artificiales sería mucho más moderado, su desarrollo supondría casi seis veces menos al que se produciría en el escenario tendencial. En el escenario verde, el matorral y pastizal que, en los escenarios mencionados anteriormente, registraría pérdidas, mostraría aquí valores de crecimiento, si bien, cercanos a la estabilidad; el uso que más contraste manifestaría sería el bosque, que experimentará un crecimiento considerable.

La presencia de esta gran área metropolitana se traduce en una gran producción de residuos urbanos e industriales, en la sobreexplotación de algunos recursos naturales y en la presión del ocio sobre los espacios naturales protegidos. A pesar de todo ello, la CM sigue conservando un importante número de espacios naturales de incuestionable valor ecológico, bajo diversas figuras de protección.

La información aquí proporcionada puede ser de utilidad para la planificación territorial y la conservación de los recursos naturales de la región y, en consecuencia, puede ser de interés para los agentes que participan en dicha planificación, sirviendo como un instrumento para realizar una ordenación territorial más sostenible.

Corregir las deficiencias causadas durante estas décadas pasadas es responsabilidad de los diferentes estamentos, los cuales deben ser capaces de dar una solución a los problemas generados.

El camino debe hacerse hacia un nuevo desarrollo territorial, más acorde con la sostenibilidad, tanto ambiental como económica y social. Los futuros planes de ordenación del territorio de la región y los planes de urbanismo municipales deberían tener como principal meta la consecución de estos objetivos, tanto a corto como a medio y largo plazo. Una gestión sostenible de la tierra debe representar a todas las clases de uso de la tierra y de todos los sectores económicos; debe mejorar el rendimiento económico del lugar, pero manteniendo la calidad y las funciones ambientales de los recursos naturales y la preservación cultural de los paisajes.

Palabras clave: Usos del suelo; cambios de usos del suelo; escenarios; simulaciones; modelos; Comunidad de Madrid; planificación; ordenación del territorio.

ABSTRACT

Land uses can operate as climate regulators and are the support of different ecosystems functions. A poor management may result in negative impacts, such as increasing greenhouse gases, biodiversity losses, habitat destruction, degradation and fragmentation of landscapes, degradation of soil quality, floods, etc.

Land use (LU) change models are a learning tool that allow to unravel the explanatory factors and the dynamics of the system and also serve to explore the sensitivity of LU change patterns to defined biophysical, socio-economic and spatial variables (Veldkamp y Lambin, 2001; Verburg et al., 2006a). They also play an important role in exploring possible future developments; this allows assessing the impact of alternative policies or LU regimes (Henríquez et al., 2006; Verburg et al., 2006a).

The development of LU change and future simulations models has been directly related to the development of remote sensing techniques, Geographic Information Systems (GIS) and new software that allowed the uptake and processing of large datasets.

Beyond the collection and representation of LU in maps, the interest is focused on a more dynamic modeling in order to understand the past, monitor the present and predict future trajectories (Jansen, 2006). The purpose of LU scenarios is to investigate what major changes might be expected, as well as anticipate what LU change patterns can be expected and how different policies can impact and affect the territory.

At the present, there are many techniques to perform LU change modeling and future simulations and have been developed increasingly more complex models. In the present day, a combination of several techniques is frequently used.

Parker et al. (2002) note that is necessary to develop models more sensitive to variability and more effective to regional policies. Lambin and Geist (2006) discern that an integrated modeling work should be done with global, regional and local databases, not only in terms of land cover classes, but also in terms of land management, through a more participatory GIS data exchange. Busch (2006) note that LU changes and simulations models have been commonly seen from a sectorial perspective, focused on changes in agriculture, forest areas or urban areas separately, but nowadays, more studies are integrating different land uses.

Results depend on the quality, compatibility and accuracy of the input data set. Regional or local studies, in order to improve the models and to obtain LU projections as reliable as possible, need large detailed information, not only

about LU or land cover, but also human and natural variables, such as: precipitation, temperature, humidity, pollution, population density, age structure, immigration and emigration, labor force, rural-urban migration, land management practices, land tenure, energy consumption, use of machinery, housing prices, number of cars per person, number of tourists, electricity and water demand, climate change mitigation policies, etc.

The objectives of this study are to: a) analyze the land use changes that took place in the region of Madrid from years 1982 to 2006, and b) develop future land simulation models under different scenarios that can serve as a tool for regional planning.

More specifically, it is intended to:

- a. Standardize and homogenize the cartographic information collected.
- b. Detect potential errors which might contain the maps collected, and proceed to its correction.
- c. Identify historical factors (historical planning, developments and human activities) that have influence LU changes.
- d. Study the dynamics regarding different land uses, using four maps of different points in time, years 1982, 1990, 2000 and 2006.
- e. Reveal whether temporal instability exists in the data used and what periods have similar exchange rates.
- f. Find out the relationship between LU changes and a set of driving factors.
- g. Produce LU maps to year 2025 under three different scenarios (trend, economic recession and green scenarios) to represent different future trends and explore cause-effect relationships of possible policies that may be.
- h. Compare two different LU simulation models, CLUE and Land Change Modeler (LCM-IDRISI), with the aim of analyzing the similarities and differences between them.
- i. Determine the importance of developing future LU scenarios and the implications they may have in relation to territorial sustainability.

Therefore, this work is focused on the study and analysis of LU changes that have occurred in the region of Madrid in nearly three decades (between 1982 and 2006) as well as modeling future land uses to year 2025 under different scenarios. This research also pays attention on the detection of possible errors in the mapping and the implications they these may have.

This work is structured as follows:

Chapter 1. Hypothesis, objectives and work structure.

Chapter 2. Study area. This chapter, along with a brief introduction about physical and demographic characteristics of the region of Madrid, also details a collection of spatial and urban plans and historical analysis of the evolution of the region since the 80s until today from the perspective of LU changes.

Chapter 3. Background and state of art about LU change modeling and future LU simulations. In addition, it describes several techniques developed to detect errors in the mapping.

Chapter 4. Data sources and general methodology. Chapters 5 and 6 enclose, in detail, their own methodology and description of the different processes carried out.

Chapter 5. LU changes results. It also includes the methodology used and a section on the errors found in the mapping and the processes performed for its correction.

Chapter 6. Future LU simulations results. It also contains a brief description of the software used and a description of how the models were designed, implemented, calibrated and validated. It details also the relationships between driving factors and the location of each LU and/or the changes occurred.

Chapter 7. General conclusions and future work.

This work also incorporates several annexes: 1) Detail of the data sources used; 2) Detail of CORINE Land Cover (CLC) legend, level 2 and 3; 3) Results obtained from cross tabulation matrices at CLC level 3, periods 1982-1990, 1990-2000, 2000-2006 and 1982-2006; 4) Explanation about the software used for future LU scenario modeling; 5) Detailed LU restrictions used; 6) Surveys samples conducted for the creation of the economic recession scenario; 7) LU maps used, with corrections of errors found, at CLC level 2 and 3, years 1982, 1990, 2000 and 2006; and 8) LU maps reclassified to the legend used in the scenarios, years 1990, 2000 and 2006.

Most of the cartographic results are presented in size DIN A-3. These maps are shown in ETRS 89 reference system, and UTM Zone 30 projection, and include the National Base Map, scale 1:500.000, according to the official representation. Maps that are included within the document itself, in size DIN A-4, contain no base map for an easy viewing, and are represented in ETRS 89 LAEA reference system.

This work is focused on four LU maps: the Vegetation and land use map of the region of Madrid, from 1982, and the three CORINE Land Cover maps, in the

years 1990, 2000 and 2006. Additionally, auxiliary information and mapping have been used for the development of future LU scenarios, such as: natural protected zoning maps, preserved mountains, geological map, digital elevation model... to name a few.

LU change analyses have been carried out using different techniques and models. Cross-tabulation matrices, gains, losses and exchanges analyses and maps of changes were performed. These analyses were done using the Land Change Modeler module (LCM), IDRISI software, Taiga and Selva versions, and ArcGIS software, 9.3 and 10 versions.

Errors were detected in each map by cross-tabulation matrices. These errors were subsequently corrected by visual analysis and by overlapping these errors with satellite and air-borne imagery.

Other techniques have been also used, such as studies of change frequencies, intensities analysis, temporal instability analysis and categorical aggregation analysis.

Analyses have been made between for different periods of time: 1982-1990, 1990-2000, 2000-2006, and also for the entire study period, 1982-2006; and have been worked at CLC level 2, which includes 13 categories of land uses, and CLC level 3, with 30 different categories.

Three LU simulations in the region of Madrid were carried out using the software CLUE. Simulations considered the continuity of past trends or a change due to the Spanish economic recession or a green policy. To this propose, a reclassification of CLC level 3 was made obtaining only 7 different LU categories. Also, it has been used the module LCM-IDRISI for developing a trend scenario. Results obtained with both software, CLUE and LCM, were later compared. Working with two simulation software allows reaching a more plausible and credible result and emphasize possible processes that may occur in the near future. We used logistic regression and neural networks for modeling the land uses.

Results have been validated using different techniques, in order to have a more knowledge about the reliability and accuracy of the results.

Madrid has experienced in recent years a rapid economic growth which has lead to large territorial transformations and thus, there have undergone numerous LU changes located thorough its territory linked, in the recent decades, to the road network.

There has been a fast growth of artificial areas, which have occupied 58,141 hectares in 1982 to 114,652 hectares in 2006

Between the 80s and 90s the agricultural sector noticed a weakening process in which its activity decreased. The explosion of urban, industrial, commercial and transport areas in this decade is shy but rising around the city of Madrid; this increasing is also evident in the location of second homes in the mountain area, on the northwestern region.

Between years 1990 and 2000, arable land and other agriculture uses noticed a clear decline. These LUs types are the ones who have experienced the largest lost of land. Its losses are peppered thorough the geography of the region and have been replaced by artificial uses but also by shrub and grasslands, due to its abandonment.

Beginning the XXI Century, there is an urbanization and road network emergence with rates never registered before, in time and space, in the region history.

This growth has not only being registered in Madrid but has been generalized for the whole country. The extinct Observatory of Sustainability in Spain (OSE) published, in 2010, a report stating that the period between 2000 and 2006, could be considered the one which registered largest urban and infrastructure development in the history of Spain. According to the data collected in this work, this can be transferred also to what happened in Madrid.

Much of the urban expansion is sprawl. Urban sprawl has doubled its extension, from 28,941 hectares in 1982 to 53,240 hectares in 2006. This type of expansion is located, mostly, near woody areas.

Transport infrastructure has experienced also a significant growth, not only with the construction of new roads but also with a huge expansion of the Barajas airport, which involves not only the building itself but also an urban growth around it, because of the influence associated with the airport activities and logistics.

This artificial growth has lead to important territorial impacts throughout the region (Plata Rocha et al., 2010).

Scenarios show that, if the trend path continues to year 2025, the artificial areas would occupy the 16% of its territory (more than 134,000 hectares); this growth would expand, compactly around the metropolis and following the main roads. In the economic recession scenario, the growth of artificial uses would be much more moderate, its development would be almost 6 times less that in the baseline scenario. In a green scenario, shrub and grasslands would grow moderately and forest would experience a considerable growth.

Working with two LU simulation software, such as CLUE and LCM, allows to achieve more plausible and credible results and to emphasize possible processes that may occur in the near future.

The user, working with CLUE, can play with a variety of options, which leads to a better understanding of the model functioning. LCM, on the other hand, is quite closed compared with the previous software, because of the MLP procedure which has been considered as a black box. However, the new version of IDRISI, Selva, allows the user to open this black box and observe what the neural network is doing and find out how to improve the modeling. Moreover, LCM interface is friendlier than CLUE, making it easier and more intuitive to use. CLUE is harder to understand and reports sometimes errors that are not yet documented in the manual.

The information and the results obtained demonstrate the importance and usefulness of such tools in the process of planning and land management.

Keywords: land use, land use change, scenarios, simulations, models, Madrid Region, planning.

CAPÍTULO 1. HIPOTESIS, OBJETIVOS Y ESTRUCTURA DE LA TESIS

1.1 Introducción

1.2 Hipótesis de partida

1.3 Objetivos

1.4 Estructura de la tesis

1.1 INTRODUCCIÓN

Existe un interés creciente en conocer los cambios de usos del suelo que se han producido en un territorio, así como las causas que los han propiciado y las consecuencias que han generado, pues dichos cambios tienen implicaciones tanto ambientales como sociales y económicas. Mediante su estudio, se puede recabar información sobre el estado de la biodiversidad y del paisaje, sobre la configuración económica del territorio, etc. ya que dicha evolución está ligada al proceso socioeconómico que ha experimentado una región.

El reconocimiento de la importancia de los cambios de usos y cubiertas del suelo como un elemento del cambio global fue puesto de manifiesto en 1993 mediante un plan científico de cambios de usos del suelo que reunía a dos programas internacionales de investigación: el *International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP)*, como coordinador principal de los estudios naturales del cambio global, y el *Human Dimensions Programme*, como coordinador de la dimensión humana de dichos cambios.

Los cambios de usos del suelo pueden proporcionar información sobre la evolución de las características ecológicas del territorio y la modificación de sus valores naturales y culturales. Asimismo, pueden servir como referencia en los estudios de evaluación de impacto ambiental, de restauración y/o de planificación (Tress y Tress, 2003; García-Frapolli et al., 2007; Prieto et al., 2008; Zárate et al., 1998; Koomen et al., 2011).

Los procesos de cambios de usos del suelo están dominados por múltiples agentes, implican a múltiples usos del suelo, responden a múltiples cambios sociales, climáticos y ecológicos, se pueden representar ellos mismos a múltiples escalas espaciales y temporales, así como sus causas y las respuestas del cambio, tienen múltiples conexiones entre el espacio geográfico y social y múltiples lazos entre la población y la tierra (Lambin et al., 2006). Las causas y consecuencias de los cambios de usos dependen del contexto social, geográfico e histórico.

Los cambios de usos del suelo tienen consecuencias en el cambio climático, en la biodiversidad y en los servicios del ecosistema (*ecosystem services*), en la degradación de la tierra, y en la vulnerabilidad de los sistemas humanos-ambientales. El conocimiento de las dinámicas de estos cambios requiere

prestar atención a las cubiertas del suelo (condiciones biofísicas) y los usos del suelo (usos humanos).

Tal y como comentan Mallinis et al. (2011) los paisajes europeos mediterráneos han experimentado grandes cambios de usos del suelo como resultado de la relocalización de personas en áreas de costa, los incendios, el despoblamiento rural, la rápida expansión de las actividades relacionadas con el turismo, la explotación forestal o la intensificación de la agricultura. En el caso de la Comunidad de Madrid, los grandes cambios experimentados en las últimas décadas están asociados, principalmente, al rápido desarrollo de la urbanización y del sistema viario.

La reconstrucción de la historia de cambios de usos y cubiertas del suelo constituye un conocimiento crucial para analizar los cambios actuales y predecir los que podrían darse en el futuro, no como elemento de lo que va a pasar sino como una herramienta práctica de interpretación y de análisis. Así, los modelos de simulación son una herramienta para la elaboración de imágenes tendenciales y/o deseadas en el ejercicio de planificación. El desarrollo de escenarios ha ganado en importancia como un enfoque para analizar el futuro de una manera estructurada e integrada; ofrece un marco para combinar diferentes datos, modelos y puntos de vista, y está empezando a convertirse en una herramienta ampliamente utilizada.

Los modelos de simulación urbanos no han sido los más desarrollados; la mayoría se han centrado en los usos agrícolas o forestales, por ser éstos los que mayor extensión ocupan en el globo. La urbanización, como uso del suelo, ocupa menos del 2% de la superficie de la tierra, por lo que ha sido muchas veces ignorada; sin embargo, se espera que para el año 2025, el 60% de la población viva en áreas urbanas. Para la creación de escenarios urbanos se utilizan habitualmente modelos de autómatas celulares, por su flexibilidad a la hora de manejar reglas que determinan cambios en áreas urbanas.

Coincidimos con la opinión de Reid et al. (2006) que piensan que entender los patrones que gobiernan los rápidos cambios de usos del suelo y sus efectos asociados y/o la retroalimentación que se produce, puede ayudar a los responsables políticos y los gestores ambientales a desarrollar estrategias más efectivas y a identificar oportunidades específicas de intervención. Los estudios orientados a servir a políticas de ordenación del territorio deben ser capaces de desentrañar los puntos calientes del cambio, es decir los que ocasionan rápidos cambios y degradación. Un modelo debe poder predecir los posibles efectos que diferentes políticas o instrumentos públicos pueden tener en el territorio antes de que éstos se lleven a cabo. De esta forma, el uso de dicho modelo se convierte en una herramienta eficaz para estudiar y valorar parámetros medioambientales y socioeconómicos.

1.2 HIPÓTESIS DE PARTIDA

La Comunidad de Madrid (CM) es una región que ha experimentado en las últimas tres décadas grandes cambios de usos del suelo de forma intensa y de manera extensa en el espacio.

Han aparecido nuevos núcleos urbanos y se ha producido una intensificación y expansión de los ya existentes, principalmente en torno a la ciudad y a la metrópoli madrileña y en torno a las autovías y las nuevas radiales.

Se ha dado una expansión del urbanismo de forma dispersa, así como del establecimiento de grandes superficies comerciales y de ocio.

En el futuro la CM experimentará una trayectoria similar a la acontecida en las últimas décadas, si bien, en el contexto de recesión económica en el que estamos insertos hoy en día, los cambios se moderarán y se producirán con una intensidad menor.

Los espacios naturales protegidos, sometidos a una legislación específica, se mantendrán prácticamente estables, conservándose y/o recuperándose los usos forestales e incluso las actividades agrarias, si así lo especifican los planes de gestión o de ordenación de recursos.

1.3 OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio es conocer la evolución que ha seguido la Comunidad de Madrid, desde 1980 hasta nuestros días, a través de los cambios de usos del suelo que se han dado, así como desarrollar modelos de simulación a futuro bajo diferentes escenarios que puedan servir como herramienta en la planificación territorial de la región. Se ha querido representar procesos heterogéneos, por lo que se han estudiado diferentes usos del suelo.

Más específicamente, se pretende:

- A. Recopilar la información cartográfica pertinente para realizar los estudios de cambios de usos del suelo y de simulaciones a futuro en la región. Estandarizar y generalizar dicha información, en caso de ser necesario.
- B. Detectar los posibles errores que puede contener la cartografía recogida y proceder a su corrección.
- C. Estudiar la dinámica y la trayectoria que se ha producido en la CM en cuanto a los diferentes usos del suelo que presenta la región, utilizando para ello cuatro mapas en el tiempo, de los años 1982, 1990, 2000 y 2006. Y en concreto, detectar, analizar y describir:

1. La extensión que posee cada uso del suelo en los diferentes periodos de tiempo.
 2. La localización espacial de cada uso del suelo en dichos periodos de tiempo.
 3. Las cifras de cambio e intercambio que se han dado, señalando qué dinámicas son las más significativas, las más intensas y/o las más frecuentes, así como qué usos han permanecido estables o prácticamente estables.
 4. La localización del cambio, así como la localización de la persistencia para cada periodo de tiempo.
- D. Revelar si existe inestabilidad temporal en los datos utilizados y qué periodos de tiempo poseen tasas de cambio similares.
- E. Determinar, de forma estadística, la influencia de determinados factores biofísicos y de distancia en la localización y en los cambios de los usos del suelo que se han sucedido.
- F. Generar mapas de usos del suelo al año 2025 bajo diferentes escenarios de futuro, plausibles y verosímiles, con el objetivo de representar diferentes tendencias futuras y explorar las relaciones causa-efecto de posibles políticas que pueden darse. En concreto:
1. Desarrollar un escenario de trayectoria lineal que muestre qué pasaría si las dinámicas que se han sucedido en el pasado continuasen hasta el año 2025.
 2. Desarrollar un escenario de recesión económica que muestre qué sucedería si la crisis, que comenzó en el año 2007 y en la que estamos inmersos hoy en día, se prolongase hasta el año 2025.
 3. Generar un escenario verde que muestre qué pasaría si se toman en consideración diferentes restricciones ambientales y se produjesen incentivos en los usos naturales, especialmente en los forestales.
- G. Comparar dos modelos diferentes de simulación de usos del suelo: CLUE y Land Change Modeler (LCM) de IDRISI, con el objetivo de analizar las similitudes y diferencias entre ambos software, tanto metodológicamente como en los resultados que se obtengan de los mismos.
- H. Determinar la importancia de la elaboración de escenarios a futuro y las implicaciones que éstos pueden tener en relación con la sostenibilidad territorial.

La información proporcionada puede ser de utilidad para la planificación territorial y la conservación de los recursos naturales de la región y, en consecuencia, puede ser de interés para los agentes que participan en dicha planificación. Su metodología y resultados pueden ser tomados como una

potente herramienta en la que apoyarse para diseñar futuras ordenaciones del territorio en la Comunidad de Madrid.

1.4 ESTRUCTURA DE LA TESIS

Este apartado muestra al lector la estructura del trabajo realizado.

El capítulo 2 presenta el área de estudio. Este capítulo, además de una breve introducción sobre las características del medio físico y los rasgos demográficos de la región de Madrid, detalla una recopilación de los planes de ordenación territorial y urbana que se han sucedido y un análisis histórico de la evolución de la Comunidad desde la perspectiva de los cambios de usos del suelo desde los años 80 del siglo XX hasta nuestros días. Esto permitirá introducir y situar al lector en la materia de estudio.

El capítulo 3 ofrece una exhaustiva recopilación bibliográfica referida a los antecedentes y al estado de la cuestión de los estudios y modelos de cambios de usos del suelo y de simulaciones a futuro. Asimismo, se detallan también diferentes técnicas desarrolladas para la detección de errores en la cartografía; éste es un tema transversal en este trabajo, pero es de vital importancia, ya que de su detección y posterior corrección depende, en gran medida, la fiabilidad de los resultados obtenidos. El capítulo 3 es, por tanto, un capítulo centrado en cuestiones metodológicas.

El capítulo 4 presenta todas las fuentes de datos que se han utilizado, así como la metodología general de trabajo. Los capítulos correspondientes a los análisis de cambios de usos del suelo y a la elaboración de escenarios futuros (capítulos 5 y 6, respectivamente) contienen, en detalle, su propia metodología y la descripción de los diferentes procesos llevados a cabo; se ha querido organizar de este modo debido a la extensión de éstos y con la intención de que la metodología y los resultados obtenidos no estén muy distanciados.

El capítulo 5 contiene los resultados obtenidos de los diferentes análisis de los cambios de usos del suelo que se han realizado y, tal y como se ha dicho previamente, la metodología específica utilizada. Incluye también un apartado dedicado a los errores encontrados en la cartografía con la que se trabaja y los procesos realizados para su corrección.

El capítulo 6 muestra los resultados obtenidos de las simulaciones de cambios de usos del suelo a futuro. Igualmente, contiene una breve descripción de los dos modelos de simulaciones utilizados y se describe cómo se han diseñado, implementado, calibrado y validado los diferentes escenarios. Se detallan, también, las variables explicativas de la localización y/o de los cambios de usos del suelo y su relación con éstos.

La figura 1-1 ejemplifica resumidamente los procesos que pueden encontrarse en los capítulos 5 y 6.

Por último, el capítulo 7 detalla las conclusiones generales derivadas de todo el trabajo realizado, así como las posibles líneas futuras de trabajo.

Se incorporan además diferentes anexos en los que se incluye: 1) detalle de las fuentes de datos utilizadas; 2) detalle de la leyenda jerárquica a nivel 2 y 3 de CLC; 3) resultados obtenidos de las matrices de tabulación cruzada a nivel 3 de CLC de los años 1982-1990, 1990-2000, 2000-2006 y 1982-2006; 4) explicación más detallada sobre los dos software de modelización de escenarios de usos del suelo a futuro utilizados; 5) tabla con las restricciones de usos del suelo utilizadas en la elaboración de los diferentes escenarios a futuro; 6) modelos de encuestas realizados para la creación del escenario de recesión económica al año 2025; 7) mapas finales de usos del suelo, con corrección de errores encontrados, de los años 1982, 1990, 2000 y 2006, a nivel 2 y 3 de CLC; y 8) mapas de usos del suelo de los años 1990, 2000 y 2006, reclasificados a la leyenda utilizada en los escenarios CLUE/LCM.

Prácticamente la totalidad de los resultados cartográficos obtenidos en este trabajo están presentados en tamaño Din A-3. Estos mapas están mostrados en el sistema de referencia ETRS89 y proyección UTM Zona 30 e incluyen la base cartográfica nacional a escala 1: 500.000 del año 2011, detallada según la representación oficial. Si se desea un mayor detalle de esta cartografía puede consultarse el CD que se adjunta con este documento, donde están incluidos dichos mapas guardados a una alta resolución, en formato .pdf.

Por otra parte, los mapas que están incluidos dentro del propio documento, en Din A-4, no contienen ninguna base cartográfica para facilitar su visualización y están representados en el sistema de referencia ETRS89 LAEA.

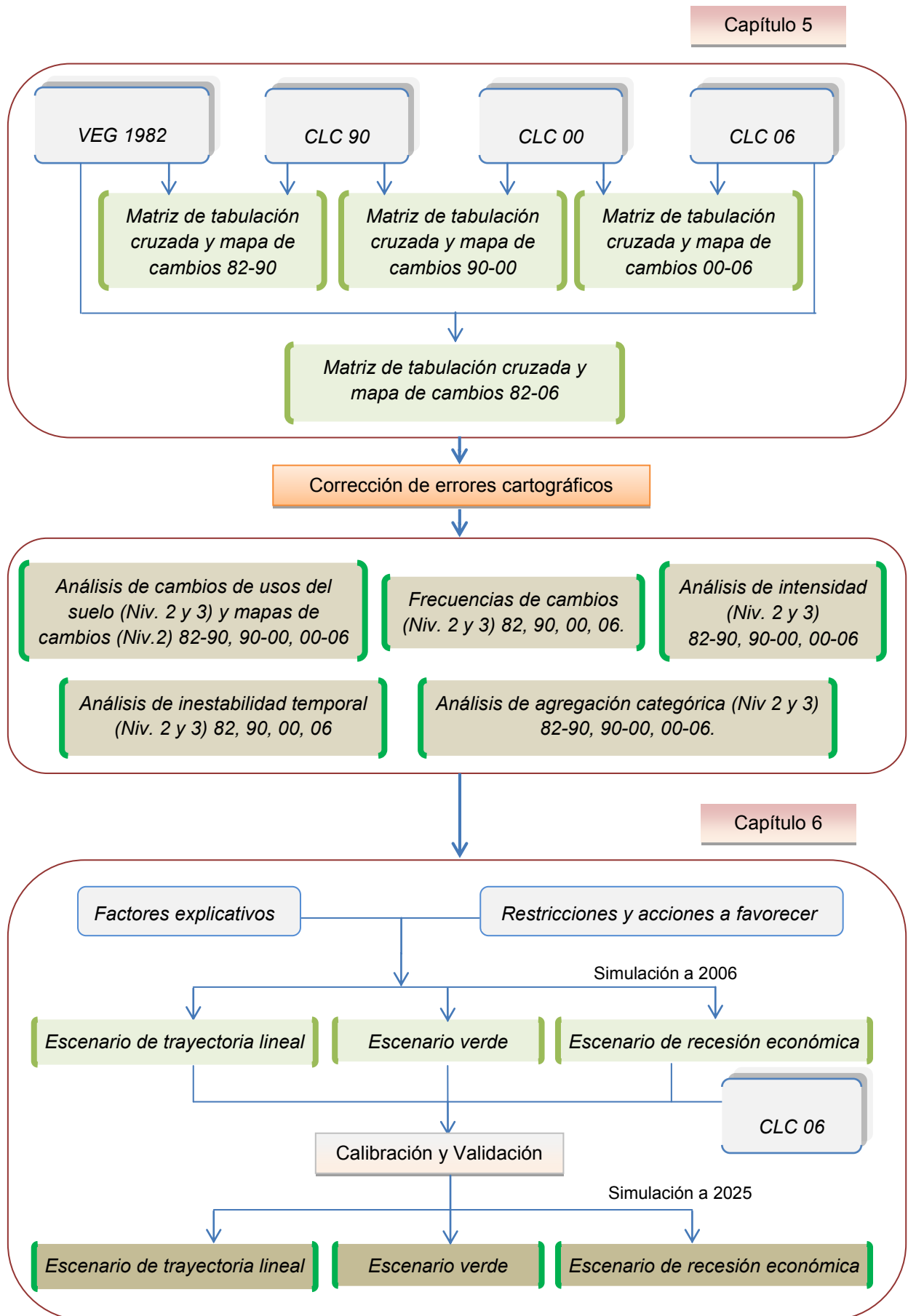


Figura 1-1. Gráfico resumen de la metodología utilizada en los capítulos 5 y 6 de este trabajo.

CAPÍTULO 2. ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Introducción.

2.2 Breve descripción del área de estudio.

2.3 La ordenación territorial y urbana en la Comunidad de Madrid.

2.4 La Comunidad de Madrid desde la perspectiva de los cambios de usos del suelo.

2.5 Conclusiones

2.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo muestra una breve introducción a la Comunidad de Madrid (CM), ámbito de estudio de esta tesis doctoral.

Se realiza, además, una recopilación de los diferentes planes de ordenación territorial (OT) y urbana que se han sucedido en la región, así como una recopilación bibliográfica de la evolución histórica que ha experimentado desde la perspectiva de los cambios de usos del suelo, desde mediados del siglo XX hasta nuestros días. Hay que mencionar que el objetivo de estos apartados no es hacer una exhaustiva descripción y repaso de los instrumentos de planificación que se han llevado a cabo en estos años, sino únicamente introducir y situar al lector en la materia de estudio.

2.2. BREVE DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La región administrativa de la CM se configuró en 1982, mediante la autorización legislativa de la Ley Orgánica 6/1982, de 7 de julio, donde “*se autoriza a la provincia de Madrid, por razones de interés nacional, para constituirse en Comunidad Autónoma*” y su posterior Estatuto de Autonomía, aprobado el 1 de marzo de 1983, bajo la Ley Orgánica 3/1983, del 25 de febrero.

Limita con las provincias castellano-leonesas de Ávila y Segovia y las provincias castellano-manchegas de Guadalajara, Cuenca y Toledo (Figura 2-1). Territorialmente se organiza en 179 municipios.

Tiene una extensión de 8.027 km², abarcando el 1,59% de la superficie nacional. Algo más de las cuatro quintas partes se hallan en una altitud superior a los 600 metros, y presenta un grado de ruralidad muy reducido, con un 79% de municipios rurales (MAPA, 2003).

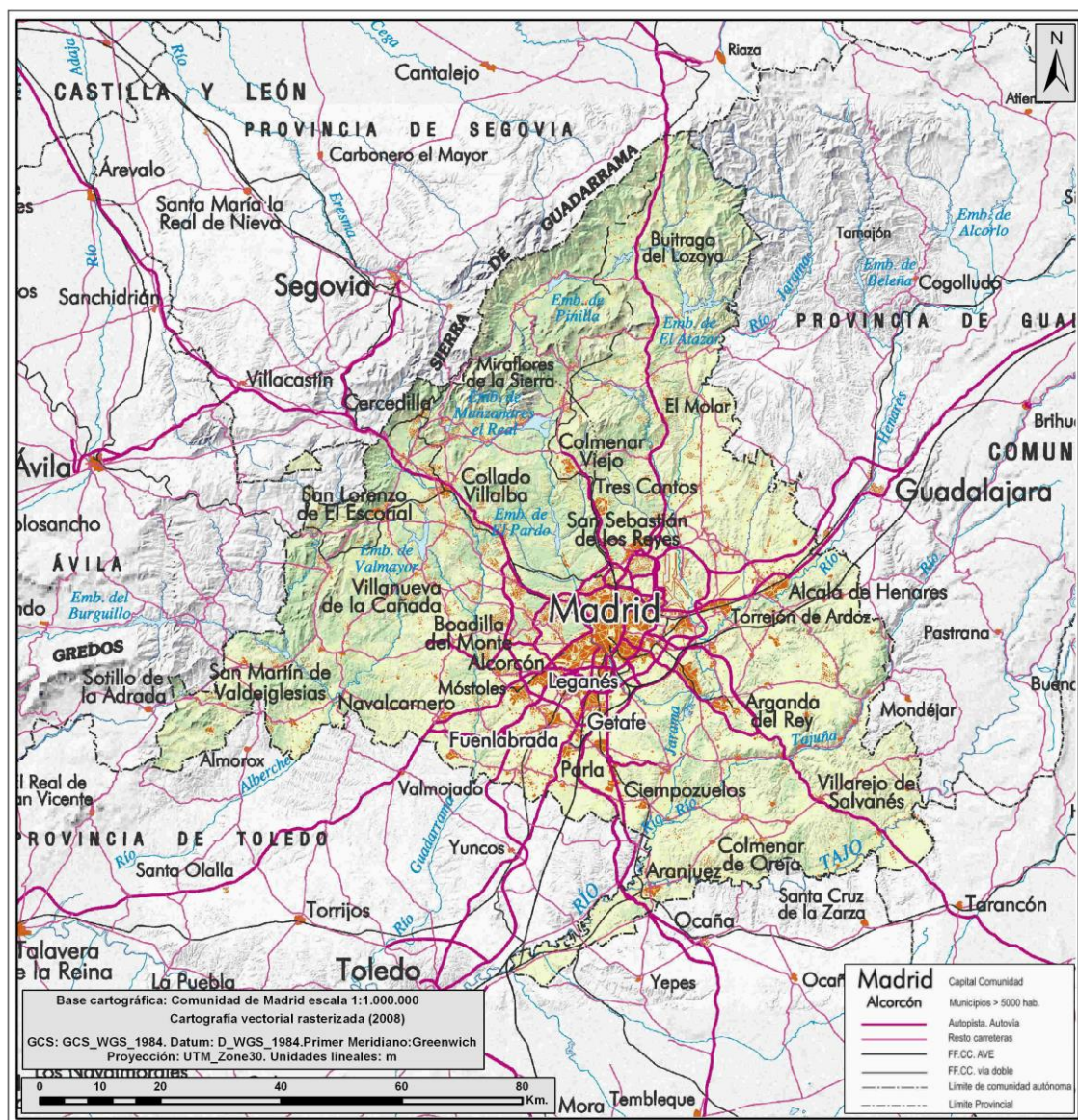


Figura 2-1. Mapa de localización del área de estudio, la Comunidad de Madrid.

García Alvarado et al. (1999) definen a la CM con los siguientes valores de relevancia:

- Se trata de una zona de alta concentración demográfica, con unas densidades de población 8,65 veces mayor que la nacional¹.
- Tiene una dinámica demográfica positiva, aunque se haya producido en tiempos más recientes una desaceleración del crecimiento, la cual, en los últimos años prácticamente se ha estancado.
- El elevado número de firmas comerciales constituidas permiten hablar de una centralidad empresarial de primera magnitud.
- Una elevada concentración de infraestructuras y de tecnologías avanzadas.

¹ Dato a 1 de enero de 2012, Padrón Municipal, Instituto Nacional de Estadística.

- e) Un alto porcentaje de ingenieros ejecutivos y técnicos, así como la principal dotación de centros de investigación y alumnado universitario del país.
- f) Elevada proyección cultural y altos niveles de edición.
- g) La mayor parte de los indicadores señalan a Madrid como la primera plaza financiera y de mercado de capitales.
- h) Un importante puesto en ferias, salones y congresos, que han experimentado recientemente una fuerte expansión, aunque otras regiones españolas rivalicen en dinamismo y especificidad al respecto.
- i) Puede considerarse el principal centro de transporte y de tráfico aeroportuario.
- j) Ciudad abierta, suele generar poca reacción de “extrañamiento” en los visitantes de cualquier parte del país, quizá porque se ha formado a base de todos ellos, y juega un papel importante de cabeza de puente entre otros ámbitos regionales más amplios como Iberoamérica, norte de África y Europa.

El medio físico de la CM se caracteriza por su contraste topográfico, el cual, sumado a la climatología, es la base de sus diferencias litológicas, geomorfológicas y biogeográficas.

La parte septentrional de la Comunidad está definida por un frente montañoso en sentido norte noreste – sur suroeste, la Sierra, con una extensión de unos 140 km. de largo y 25 km. de ancho, lo que corresponde con un 30% de la superficie de la CM. Predominan los materiales ácidos y pobres en bases, de origen plutónico o metamórfico. La altitud máxima corresponde al Pico de Peñalara, con 2.429 m.

Al pie de la Sierra se encuentran las llanuras del Tajo, las cuales están formadas por campiñas, páramos y vegas. Esta depresión ocupa el área central, este y sureste de la región. Su relieve es relativamente accidentado, abundando los llanos y los cerros-testigos en las zonas más altas, y las terrazas fluviales en las más bajas. Aquí se alcanza la menor cota de la región, con 430 m. en el cauce del río Alberche, en Villa del Prado. Dominan aquí los materiales sedimentarios de origen terciario, con calizas en los páramos, margas y yeso en las zonas altas y escarpes, y aluviones calizos en las terrazas fluviales.

Entre estas dos unidades encontramos la Rampa. Es una zona de transición, de media pendiente, con formación de rañas y sedimentos de origen diverso, muchas veces procedentes de la erosión del gran zócalo de la Sierra.

La climatología presente depende de la latitud geográfica en la que se encuentra (entre los 40° y 41° de latitud norte) y de su posición central en la Península (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2007). La mayor parte del territorio está sometido a climas de tipo mediterráneo.

Existe un gradiente de temperatura en dirección noroeste-sureste, generando grandes contrastes, con temperaturas medias entre 7°C y 15°C, y absolutas entre -8°C y 44°C. Las precipitaciones también están relacionadas con la orografía; las medias anuales más elevadas corresponden a la Sierra, alcanzando valores máximos superiores a los 1.000 mm.; estos valores descienden progresivamente hacia el sureste hasta alcanzar cifras inferiores a los 450 mm.

Respecto a la red hidrográfica, la práctica totalidad del territorio pertenece a la cuenca hidrográfica del Tajo. Destacan los afluentes del Jarama, el Guadarrama y el Alberche. El Jarama nace en Somosierra y recorre 138 km. por Madrid y Guadalajara hasta desembocar en el Tajo cerca de Aranjuez. El Guadarrama nace en el puerto de la Fuenfría, Cerro Ventoso y Siete Picos, desembocando en la ciudad de Toledo, después de recorrer 77 km. en la Comunidad. El Alberche nace en Puerto de El Pico, en Ávila, y tiene un recorrido en la región de 40 km.

En cuanto a la vegetación, la superficie forestal de la CM supera actualmente la mitad de la superficie total. La mayor parte del territorio se corresponde con un bosque de encinas (*Quercus ilex* L.), el cual se sitúa entre 800 y 1.200 m. de altitud. El encinar domina las áreas de rampa y las llanuras del Tajo, con excepción de los bosques de ribera que están situados a lo largo de los cursos de agua (saucedas, olmedas y alamedas, en las zonas bajas, y fresnedas, en las montañas). En los suelos calizos húmedos, el encinar se mezcla o es sustituido por un quejigar (*Quercus faginea* Lam.) En las áreas más húmedas, los alcornoques (*Quercus suber* L.) se mezclan también con las encinas y, en los suelos pobres, con los enebros (*Juniperus oxycedrus* L.) (Rivas Martínez, 1982; Izco, 1984).

La degradación del encinar en el sur y suroeste de la región origina formaciones arbustivas de retamas (*Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss.), tomillos y coscojas (*Quercus coccifera* L.) mientras que hacia el norte el encinar es sustituido por formaciones arbustivas de jarales (*Cistus ladanifer* L.) y cantuesos (*Lavandula stoechas* Lam.). Una excepción en el encinar madrileño es la presencia de un bosque residual de sabina albar (*Juniperus thurifera* L.) en el Valle del Lozoya (Izco, 1984; Grijalbo Cervantes, 2010).

A más de 1.200 m. y sobre suelos ácidos, se encuentra el bosque caducifolio del rebollo o roble melojo (*Quercus pyrenaica* Willd.). La degradación del melojar conduce a la formación de matorrales en los que domina la jara estepa (*Cistus laurifolius* L.). Por encima del melojar y hasta aproximadamente los 1.800 m., se sitúan los pinares de pino albar (*Pinus sylvestris* L.). Por encima de éstos no se desarrollan bosques sino formaciones densas de matorral, con piorno serrano (*Cytisus purgans* L.), codeso (*Adenocarpus hispanicus* (Lam.) DC.) y enebro enano (*Juniperus communis* L.), culminando las sierras más

altas con pastizales de altura o cervunales (*Nardus stricta* L.) y praderas de *Festuca* (Rivas Martínez, 1982; Izco, 1984).

Aunque con menor extensión, son característicos en la CM los bosques de abedules (*Betula celtiberica* Rothm. & Vasc.) en las estribaciones de Somosierra, La Acebeda y Canencia, con acebos (*Ilex aquifolium* L.) y tejos (*Taxus baccata* L.) y cuya etapa de sustitución son los brezales. Testimonial es la presencia del haya (*Fagus sylvatica* L.) en el Puerto de La Quesera y en Montejo de la Sierra (Izco, 1984; Grijalbo Cervantes, 2010).

En cuanto a la legislación, la Ley Forestal y de Protección de la Naturaleza de la CM, 16/1995, de 4 mayo, regula el régimen jurídico administrativo de los montes de la región, diferenciando entre montes públicos, pertenecientes al Estado, a la CM o a Entidades Locales u otros entes de derecho público; y los montes privados, pertenecientes a personas físicas y jurídicas de derecho privado. Estos últimos pueden estar sujetos a régimen especial, los cuales son los declarados de Utilidad Pública, Protectores, Protegidos y Preservados, o estar sujetos a régimen general, es decir, el resto de montes. La Ley establece el objetivo y el contenido de la política forestal y el instrumento para llevarse a cabo dicha Ley, el Plan Forestal.

La región cuenta, además, con numerosas áreas protegidas, las cuales han sido definidas como demarcaciones administrativas establecidas con la finalidad de favorecer la conservación de la naturaleza. Su objetivo es proteger y conservar los recursos naturales de alto valor ecológico.

Los Espacios Naturales Protegidos (ENP) han sido declarados de acuerdo con la Ley 4/1989, de 27 de marzo, de Conservación de los Espacios Naturales de la Flora y Fauna Silvestres. En la CM existen once ENP, tal y como muestra la tabla 2-1.

Espacios Naturales protegidos	
Cumbres de la Sierra de Guadarrama	<i>Parque Nacional</i>
Cuenca Alta del Manzanares	<i>Parque Regional</i>
Cursos Bajos de los ríos Manzanares y Jarama (Sureste)	<i>Parque Regional</i>
Curso Medio del río Guadarrama y su entorno	<i>Parque Regional</i>
Pinar de Abantos y Zona de la Herrería	<i>Paraje Pintoresco</i>
Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara	<i>Parque Natural</i>
El Regajal – Mar de Ontígola	<i>Reserva Natural</i>
Hayedo de Montejo de la Sierra	<i>Sitio Natural de Interés Nacional</i>
Peña del Arcipreste de Hita	<i>Monumento Natural de Interés Nacional</i>
Laguna de San Juan	<i>Refugio de Fauna</i>
Soto del Henares	<i>Régimen de Protección Preventiva</i>

Tabla 2-1. Espacios Naturales Protegidos presentes en la Comunidad de Madrid con su tipología de protección.

La Red Natura 2000, que integra las Directivas de la Unión Europea 79/409/CEE, de conservación de las aves silvestres, y 92/43/CEE, de conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres, y por tanto, las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), los Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) y las Zonas de Especial Conservación (ZEC), tiene como objetivo el mantenimiento de un estado de conservación favorable para los hábitats y las especies, tanto vegetales como animales, a través de criterios homogéneos para todos los Estados miembros.

En la CM existen siete ZEPA (Alto Lozoya; Soto de Viñuelas; Monte de El Pardo; Encinares de los ríos Alberche y Cofio; Carrizales y sotos de Aranjuez; Estepas cerealistas de los ríos Jarama y Henares; y Cortados y cantiles de los ríos Manzanares y Jarama), siete LIC (Cuencas de los ríos Jarama y Henares; Cuenca del río Lozoya y Sierra Norte; Cuenca del río Guadalix; Cuenca del río Manzanares; Cuenca del río Guadarrama; Vegas, cuevas y páramos del Sureste de Madrid; y Cuencas de los ríos Alberche y Cofio) y dos ZEC (Cuencas de los ríos Alberche y Cofio; y Cuencas de los ríos Jarama y Henares).

Además, la CM cuenta también con áreas protegidas en base a Convenios o programas internacionales, como son dos Reservas de la Biosfera (Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares y la Sierra del Rincón) y dos Humedales Ramsar (los humedales del Parque Natural de la Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara, y los del Macizo de Peñalara).

Asimismo, la Ley 7/1990, de 28 de junio, de Protección de Embalses y Zonas Húmedas, determina la necesidad de instrumentar medidas para preservar dichas áreas. El catálogo de embalses y zonas húmedas contiene, a día de hoy, 23 zonas húmedas protegidas y 14 embalses protegidos, con sus correspondientes Planes de Ordenación, que ocupan una superficie de 928 ha. y 19.758 ha., respectivamente (tablas 2-2 y 2-3).

Humedales protegidos	
Lagunas de Soto Mozanaque	Lagunas de Belvis
Laguna de San Juan	Charcas de los Camorchos
Laguna de Casasola	Lagunas del Campillo
Laguna de San Galindo	Laguna de Soto de las Juntas
Lagunas de Ciempozuelos	Lagunas de Cerro Gordo
Lagunas de Castrejón	Laguna de Valdemanco
Lagunas de Horna	Lagunas de Velilla
Humedales del Macizo de Peñalara	Lagunas de Sotillo y Picón de los Conejos
Lagunas de la presa del río Henares	Laguna de las Esteras
Laguna de Soto de las Cuevas	Mar de Ontígola
Humedal del Carrizal de Villamejor	Soto del Lugar
Lagunas de las Madres.	

Tabla 2-2. Humedales protegidos en la Comunidad de Madrid.

Embalses protegidos	
El Atazar	Picadas
El Pardo	Pinilla
El Villar	Puentes Viejas
La Jarosa	Riosequillo,
Los Arroyos	San Juan
Navacerrada	Santillana
Pedrezuela	Valmayor

Tabla 2-3. Embalses protegidos en la Comunidad de Madrid.

Por otra parte, la Ley 2/1991, de 14 de febrero, y el posterior Decreto 18/1992, de 26 de marzo, establecen el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres y se crea la categoría de árboles singulares. Dicho Catálogo incluye 95 especies de flora y 133 especies de fauna con protección efectiva en la CM.

A pesar del elevado nivel de antropización de la región, su medio natural posee acreditada diversidad biológica. Como se ha visto, una importante superficie regional está bien conservada gracias a diversas figuras de protección, las cuales suponen casi el 75% del territorio autonómico; al mismo tiempo, más de un 15% de la superficie total de la CM se corresponde con espacios que tienen valores paisajísticos altos o muy altos (Martínez Vega et al., 2007).

En cuanto a su población, a fecha de la última revisión del Padrón municipal, realizado el 1 de enero de 2012, la CM posee 6.498.560 habitantes y una densidad media de 807 habitantes por km², representando el 13,75% de la población española.

Uno de sus rasgos demográficos es la alta concentración de población en la corona metropolitana, es decir, en el término municipal de Madrid y en los términos municipales circundantes. Así, el municipio de Madrid, con 3.265.038 habitantes, tiene una densidad de 5.396 habitantes por km²; le sigue el sur metropolitano con 1.281.928 habitantes y una densidad de 1.699 hab/km², el este metropolitano con 643.695 habitantes y 1.551 hab/km², el oeste metropolitano con 466.419 habitantes y 938 hab/km² y, por último, el norte metropolitano con 315.749 habitantes y 747 hab/km².

Su población presenta un grado de envejecimiento elevado, donde la edad media es de 39 años y sólo el 15% son menores de 15 años. Su ratio de reemplazamiento de 1,14.

2.3. LA ORDENACIÓN TERRITORIAL Y URBANA EN LA COMUNIDAD DE MADRID.

2.3.1 Introducción

La planificación territorial juega un papel fundamental en la evolución de los usos del suelo, ya que las bases sobre las que se asienta y se legisla están en relación directa con éstos. Es por ello que la planificación de los usos del suelo es un elemento clave en la regulación territorial y puede ser una de las herramientas que garanticen un desarrollo sostenible.

Los instrumentos de OT de ámbito regional tienen como funciones esenciales establecer los elementos básicos para la organización y estructura del territorio y ser el marco de referencia para la acción pública de incidencia territorial. (Benabent, 2006)

Al ser la CM una región altamente urbanizada, el planeamiento municipal tiene una gran importancia en la regulación del mercado inmobiliario, puesto que define el destino y el aprovechamiento de los diferentes terrenos, los servicios necesarios y el programa de actuación.

No es objetivo de este apartado hacer una investigación exhaustiva y una posterior valoración de todos los instrumentos de OT y de planificación que se han sucedido en España desde los años 50. Se centrará, pues, en los instrumentos regionales, haciendo hincapié en los planes urbanísticos. Aunque la CM regula también los planes e instrumentos de ordenación del medio físico natural, con el objetivo de proteger ámbitos delimitados por sus especiales características naturales, ecológicas, paisajísticas, agrícolas, ganaderas o forestales, así como planes de infraestructuras de transporte, etc., a través de programas o medidas específicas, en este apartado será detallada solo la planificación de carácter regional no sectorial, salvo en el caso de la vivienda. Si bien, la legislación sobre el medio físico y natural, que influye en los cambios de usos del suelo ha sido consultada para la construcción y desarrollo de los modelos de simulación a futuro y puede consultarse en el capítulo 5.

Asimismo, la planificación municipal no ha sido recogida en este apartado ya que la OT es un tema tangencial en este estudio y hubiese supuesto trabajar a una escala de mayor detalle, a escala local, mediante el estudio pormenorizado de la planificación de cada uno de los 179 municipios que engloba la región. Sin embargo, es de mencionar que ésta sí está recogida, de forma indirecta, ya que se ha hecho uso de la cartografía de clasificación y calificación de usos del suelo de Madrid para la elaboración de los escenarios a futuro.

Este apartado presenta, por tanto, los diferentes planes que se han sucedido a nivel regional en la CM desde mediados de los años 50 del siglo XX, mostrándose primordialmente los acontecidos desde los años 80 hasta el año

2006, periodo de estudio de este trabajo. Hay que señalar que la mayoría de estos instrumentos de planificación no llegaron a materializarse, lo cual demuestra la incapacidad e incompetencia de la región en esta materia. Sin embargo, es importante reseñarlos ya que dichos planes funcionaron como ensayos y algunas de sus propuestas tuvieron reflejo en diferentes planes municipales.

2.3.2 Antecedentes históricos

Hasta mediados del siglo XX no existen planes de OT propiamente dichos, si bien hay un interés por ordenar el rápido crecimiento que están experimentando las ciudades.

Tal y como apunta Benabent (2006), entre los años 30 y 40 del siglo XX los planes de las grandes ciudades, como Barcelona y Madrid, empezaban a contemplar la ciudad formando parte del territorio, pero es un territorio visto desde la perspectiva del centro, que se pone a su servicio. Existe la preocupación por integrar el territorio adyacente, por articularlo y concebirlo como parte de la ciudad; así, la ciudad incorpora los núcleos próximos, organiza la red viaria y ferroviaria, delimita su ámbito de influencia y trata de incorporar los espacios naturales para el ocio de sus ciudadanos.

Tras la Guerra Civil, la experiencia territorial se plasma con los trabajos para el Plan Nacional de Urbanismo, en los planes provinciales y comarcales, y en planes metropolitanos y proyectos de descongestión de las grandes ciudades. En el caso de la ciudad de Madrid, el Plan de Madrid de 1946 pretendía absorber la población, procedente del medio rural, mediante un conjunto de localizaciones que pudieran ejercer como puntos de atracción y preparar el suelo necesario para la construcción de viviendas. Sin embargo, este plan de descongestión de Madrid resultó fallido, debido a la falta de previsión de suelo para el desarrollo de la propia capital y su implantación a remolque de hechos consumados, sin una visión de conjunto (Benabent, 2006).

2.3.3 La planificación regional desde mediados del siglo XX hasta 1980.

En este periodo, el concepto de OT se separa de la planificación socioeconómica y lo acerca al concepto de planeamiento territorial urbano. (Benabent, 2006). Son tres los planes que destacan en la región.

En 1963 se crea el primer Plan General de Ordenación Urbana del Área Metropolitana de Madrid. Ésta es definida en el Artículo Segundo de la Ley 121/1963, de 2 de diciembre, sobre el Área Metropolitana de Madrid y engloba, citados de modo alfabético, el término municipal de Madrid, y los términos

municipales de Alcobendas, Alcorcón, Boadilla del Monte, Brunete, Colmenar Viejo, Coslada, Getafe, Leganés, Majadahonda, Mejorada del Campo, Paracuellos del Jarama, Pinto, Pozuelo de Alarcón, Rivas del Jarama, San Fernando de Henares, San Sebastián de los Reyes, Torrejón de Ardoz, Velilla de San Antonio, Villanueva del Pardillo, Villanueva de la Cañada y Villaviciosa de Odón; un año después se incorporaría también a Las Rozas, mediante el decreto 3087/1964 (figura 2-2). Además, se concibe como Entorno Provincial a las provincias limítrofes de Ávila, Cuenca, Guadalajara, Segovia y Toledo.

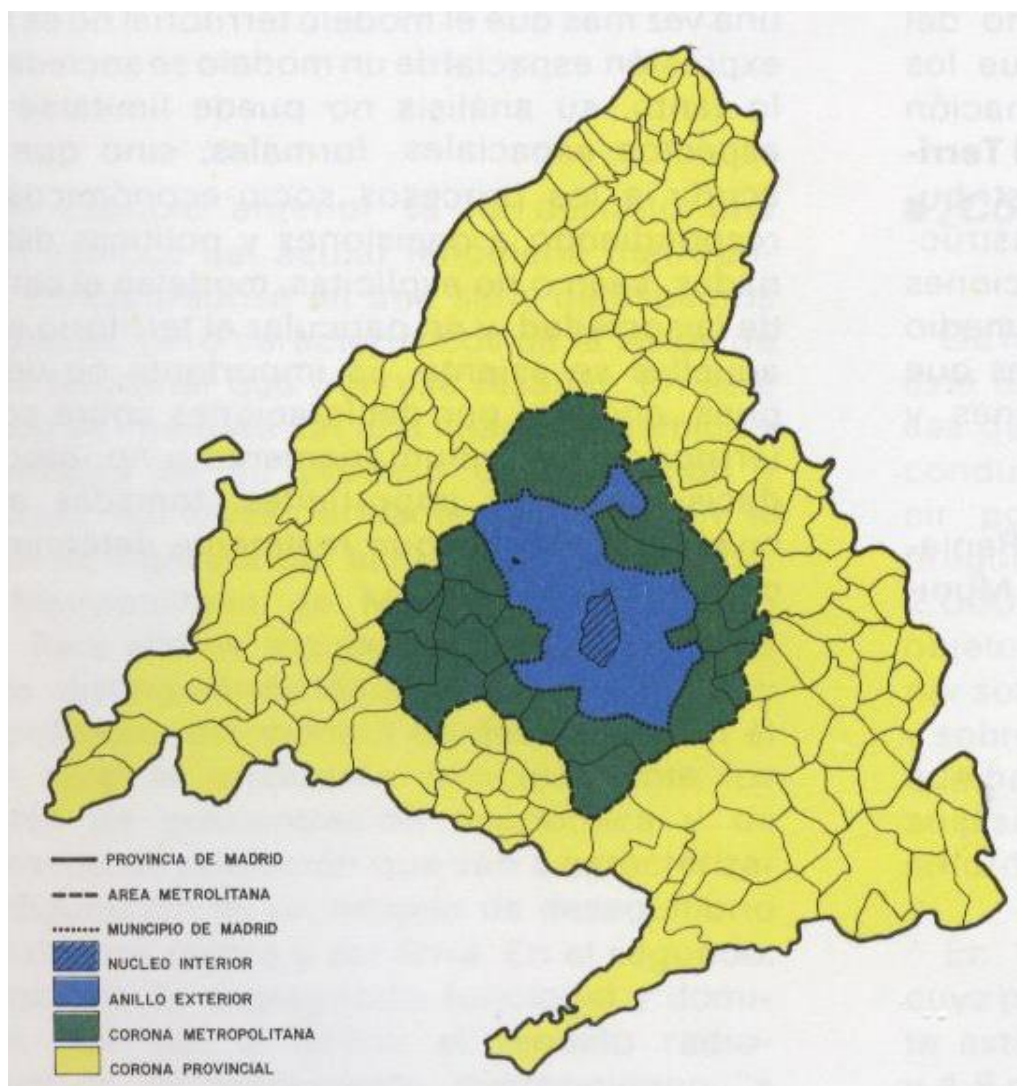


Figura 2-2. Ámbitos territoriales considerados en el Plan General de Ordenación Urbana del Área Metropolitana de Madrid, de 1964. Fuente: COPLACO (1980).

En dicho Plan, se institucionalizan las facultades ordenadoras en la figura de la Comisión de Planeamiento y Coordinación del Área Metropolitana de Madrid (COPLACO). Su objetivo era ordenar el crecimiento urbano, descentralizándolo en la escala regional hacia ciertos polos o núcleos de descongestión, dando el salto desde la periferia municipal, formada por la capital y algunos pequeños municipios cercanos que ya habían sido anexionados administrativamente a Madrid. Dicho crecimiento, basado en usos residenciales e industriales al sur y

al este, y de recreo y esparcimiento al oeste, estaba definido, básicamente, por una red viaria de forma arterial que actuaba como elemento estructurador del sistema (de Santiago, 2008a).

Un año más tarde, el Plan de Descongestión de Madrid de 1964, con objetivos más limitados, continúa con el propósito de frenar el crecimiento congestivo de la gran ciudad, así como estructurar y desarrollar la región urbana de Madrid y transferir parte del excedente de la gran ciudad a la creación de centros industriales. Para ello, se proponía dirigir la expansión a puntos de la región bien situados y suficientemente alejados, mediante el ofrecimiento de suelos baratos y ventajas económicas (Benabent, 2006).

Tanto el modelo territorial del Plan de 1963 y del Plan de 1964 fue desbordado por el crecimiento que, desde el núcleo urbano de la capital, se extendía a los núcleos periféricos, sin un modelo planificado de infraestructuras y servicios; la llegada masiva de mano de obra desde el campo se establecía de manera errática y desordenada. La metrópoli propuesta seguía potenciando el núcleo central y dando escasa importancia al área exterior, no previéndose en ésta crecimientos sustanciales (Comunidad de Madrid, 1990).

Casi diez años más tarde, en 1972, COPLACO realiza un Esquema Director que define una región de planificación, la Región Central, en la que debían potenciarse sus centros urbanos, de manera que éstos sirviesen como conductores de la difusión que generaba el Área Metropolitana de Madrid; esta región se ampliará a una Subregión Central, haciéndola coincidir, por cuestiones operativas, con los límites exteriores de las cinco provincias limítrofes con Madrid: Ávila, Segovia, Guadalajara, Cuenca y Toledo, y donde debían desarrollarse las políticas infraestructurales, del sistema urbano y de espacios a preservar. En cuanto al sistema de infraestructuras viarias, se establece una estructura ortogonal en torno a Madrid y una mejora de la accesibilidad entre los centros regionales mediante un eje viario al norte y otro al sur de la cordillera Central. Además, se establece una propuesta de zonas a proteger con diferentes niveles de restricciones, la delimitación de cuatro parques regionales (zona norte de Guadalajara, valle alto del Lozoya, río Moros y Montes de Toledo), la definición de unas zonas de recreo y ocio en el entorno de los cauces medios de los ríos y de las áreas de especial valor geológico y ecológico y, finalmente, se señalaban las áreas degradadas que debían ser objeto de recuperación. Sin embargo, estas propuestas fueron un fracaso debido a la falta de compromiso político (Benabent, 2006; Valenzuela, 2010).

En el informe de COPLACO (1980) se distinguen hasta cuatro tendencias de modelo territorial que coexisten en el tiempo en la CM hasta los años 80:

- El modelo del Plan del 63, desfasado en sus documentos iniciales y convertido técnicamente en otro Plan a través de sus numerosas modificaciones y desarrollo del planeamiento parcial y general. No

responde a ninguna declaración explícita de intenciones de OT y carece de realismo en sus previsiones y en las inversiones necesarias para llevarlo a cabo. Desde el punto de vista de la política del suelo, este plan condujo a un tremendo exceso de suelo calificado sobre las necesidades reales que, sin embargo, se retiene tanto por prácticas especulativas como por las incapacidades de la gestión urbanística.

- El modelo de crecimiento a saltos, condicionado fundamentalmente por la estrategia de la promoción de la vivienda y por los precios de ésta. Dejó tras de sí unos profundos déficits de equipamiento y de infraestructuras básicas y generó unas enormes demandas de transporte, por depender de una estructura radiocéntrica y congestiva.
- El intento de modelo de grandes promociones y actuaciones viarias, desencadenado principalmente por la estrategia de grandes promotores inmobiliarios y por la estructura de la propiedad del suelo. Fue paralizado por la crisis económica de los años 70.
- Los intentos de modelo planeado de diferentes planes y directrices específicos, como el Avance del esquema Director, Estudio del corredor Madrid-Guadalajara, Directrices de Planeamiento Metropolitano del Sector Norte y del Sector Sureste y los Planes Espaciales sectoriales, que siguieron las vicisitudes de los numerosos cambios de Gobierno y del proceso de cambio político. Éstos dejaron un poso de experiencia en el sentido de desconfiar de cualquier planteamiento que no contase con una base institucional adecuada y con el compromiso de los agentes reales del desarrollo urbano, ya fuesen públicos o privados.

2.3.4 La planificación regional a partir de 1980.

En 1980, los 27 municipios exteriores de la llamada área metropolitana funcional, que no debían crecer según el planeamiento entonces vigente, tenían 1.200.000 habitantes, suponiendo el 27% de la población metropolitana. Los barrios periféricos del núcleo central y estos núcleos exteriores se habían edificado sin una planificación de servicios, áreas centrales, empleo o transporte adecuados (Comunidad de Madrid, 1990).

Las Directrices del Área Metropolitana de Madrid (1981) reconocen la nueva situación institucional y política y la competencia de los municipios del Área Metropolitana de Madrid, mediante el Real Decreto Ley 11/1980, sobre revisión del Plan General del Área Metropolitana de Madrid, en la elaboración de su planeamiento, con el objetivo de resolver los problemas de las aglomeraciones urbanas mediante documentos más flexibles que el previsto en la legislación urbanística (Benabent, 2006).

Dichas Directrices y los planes generales que las desarrollaron, propusieron un modelo territorial basado en la cualificación de los núcleos existentes,

mejorando las condiciones generales de calidad de vida, terminando tramas incompletas y mejorando las ciudades en dotación de servicios, especialmente en las áreas periféricas de la capital y en los núcleos exteriores, incluidos los transportes públicos y su sistema viario. Se establecieron, sin embargo, pocos elementos de descentralización del terciario y se mantenía todo el sur de la metrópoli como una gran área de especialización industrial (Comunidad de Madrid, 1990).

Estos trabajos y los desarrollos de los planes de ordenación de la ciudad se paralizan con la Constitución recién aprobada, la cual asignaba la competencia de la OT a las CC.AA. En el caso de la CM, es la Ley 10/1984 de 30 de mayo, de Ordenación Territorial de la Comunidad Autónoma de Madrid, la que le otorga dichas competencias, y es el marco para formular las Directrices de OT en la región.

La CM fue la última en constituirse pero, sin embargo, fue la segunda en estrenar su competencias plenas en materia de planificación territorial. La justificación era tener un marco de OT de carácter supramunicipal para el conjunto de la CM y para ámbitos subregionales de la misma (Valenzuela, 2010).

La Ley 10/1984, sobre Ordenación Territorial de la CM, marca una clara distinción entre planificación territorial y planificación económica, entre el largo plazo de las propuestas territoriales y el corto plazo de la programación económica. Para unir ambos, se crean los Programas Coordinados de Actuación, los cuales recogían los compromisos y prioridades de inversión de los distintos organismos y cuyo objetivo era la coordinación de las actuaciones de transcendencia territorial de las distintas administraciones en el territorio y la conexión o vinculación de estas acciones coordinadas con la planificación económica, con la programación presupuestaria y con los programas de planes urbanísticos (Benabent, 2006).

En 1985 aparecen las primeras directrices de OT de la CM. Se trata del primer documento de una Comunidad Autónoma en el que se aborda la planificación territorial. Su elaboración, sin embargo, no pasará de la fase de Documento Previo, pero es de interés debido al intento de establecer un modelo territorial que constituyese una propuesta de usos del suelo, defensiva, de contención y control del territorio, de salvaguarda de los espacios más valiosos, de establecimiento de techos al crecimiento urbanístico, de control de las implantaciones ilegales residenciales e industriales. Además, este documento debía suministrar las previsiones y criterios para la formulación territorial de las políticas sectoriales (Benabent, 2006).

Así, en dicho Documento Previo, dos eran los principios generales: en primer lugar, la defensa, recuperación y potenciación del medio rural, integrando el sistema de asentamientos urbanos y sus actividades en una trama de espacios

naturales articulados; y, en segundo lugar, la potenciación y relanzamiento de las actividades productivas, tanto las relacionadas con la agricultura y ganadería, que garantizaran la conservación del espacio rural, como las actividades productivas secundarias y terciarias que, a través de la potenciación y relanzamiento de industrias y servicios, utilizaran el patrón de asentamientos existentes y completasen y reequilibrasen el sistema de asentamientos urbanos (Comunidad de Madrid, 1985).

En cuanto a la planificación del medio físico, de los recursos naturales y del sector agrario (figuras 2-3 y 2-4), se pretendía favorecer las comunidades vegetales hacia etapas más maduras, señalar áreas de repoblación forestal a largo plazo y el mantenimiento de la superficie de suelo agrícolamente productivo y de la superficie agraria útil.

En cuanto a la actividad económica, el objetivo era contribuir a la recuperación del aparato productivo y a la creación de puestos de trabajo, así como fomentar la coordinación entre la planificación territorial y urbanística, y la económica, y dimensionar el suelo soporte de la actividad económica, especialmente la industria en polígono, las grandes superficies comerciales y el terciario no local. En vivienda había que adecuar la oferta a la demanda y procurar la utilización racional del parque de viviendas existente. En transporte, se intenta potenciar el ferrocarril de cercanías para canalizar la movilidad radial de ámbito metropolitano y renovar la red de metro existente, así como aumentar la accesibilidad de los espacios más desfavorecidos de la región, particularmente el sur del Área Metropolitana (Comunidad de Madrid, 1985).

Posteriormente, el documento de Bases de las Directrices de Ordenación Territorial de 1988, supone el abandono definitivo del Documento Previo. Las nuevas bases debían definir una estrategia muy selectiva en cuanto a las operaciones territoriales a proponer, así como atar y reforzar las propuestas que ya existiesen y reorientarlas en función de sus objetivos estratégicos. El contenido consistía en unas orientaciones que se desplegaban en una serie de líneas de actuación y una estrategia apoyada en unas operaciones territoriales selectivas.

La puesta en marcha se plasmó en las Estrategias Territoriales, definidas como documentos de ordenación que trataban de encauzar los problemas de carácter supramunicipal existentes, comunes a varios municipios. Esta nueva forma de intervención no estaba recogida en la Ley 10/1984, de Ordenación Territorial, por lo que las propuestas eran concertadas con los municipios y con la CM (Benabent, 2006).

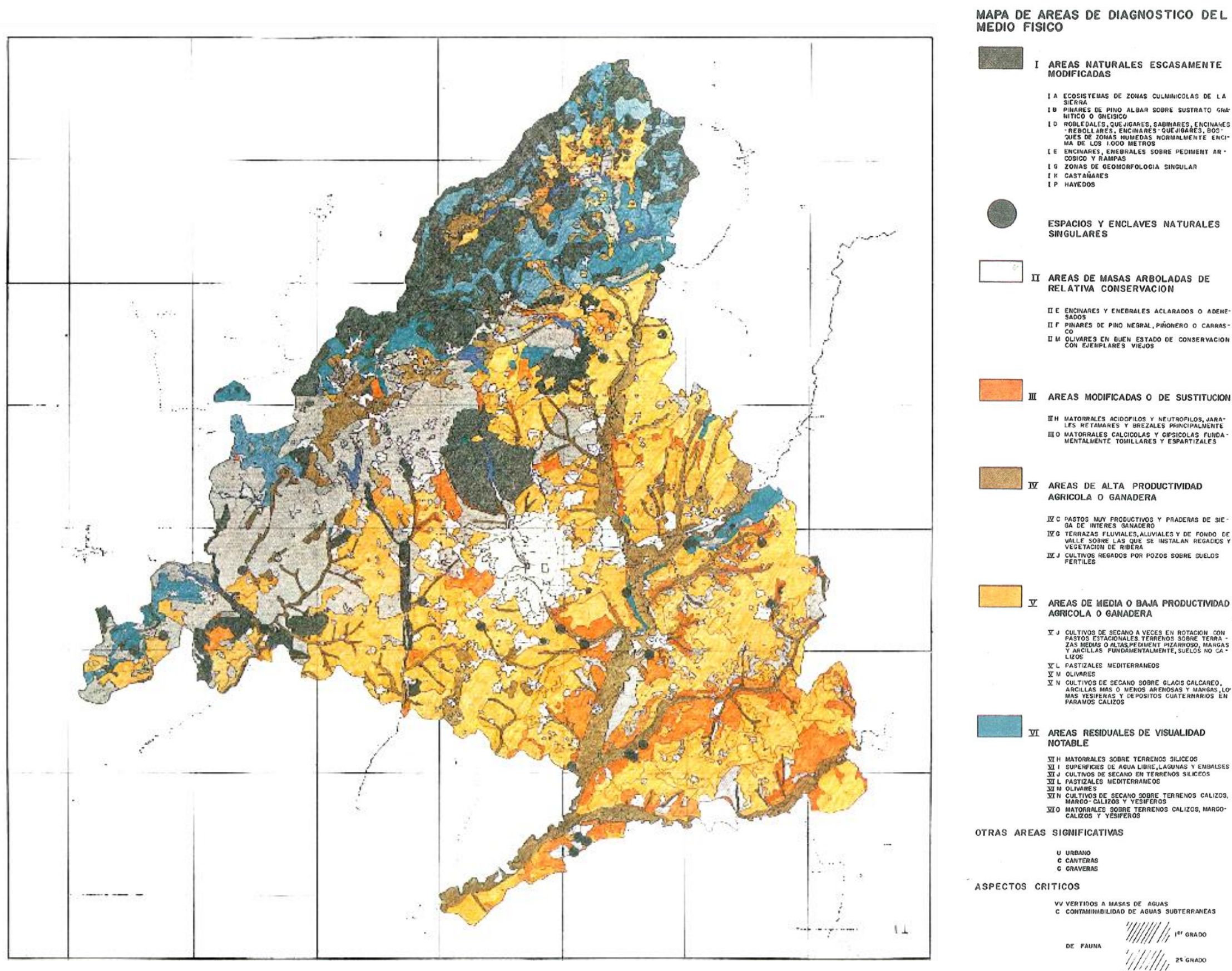


Figura 2-3. Mapa de áreas de diagnóstico del medio físico, Documento Previo, Directrices de Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid. Fuente: Comunidad de Madrid (1985)

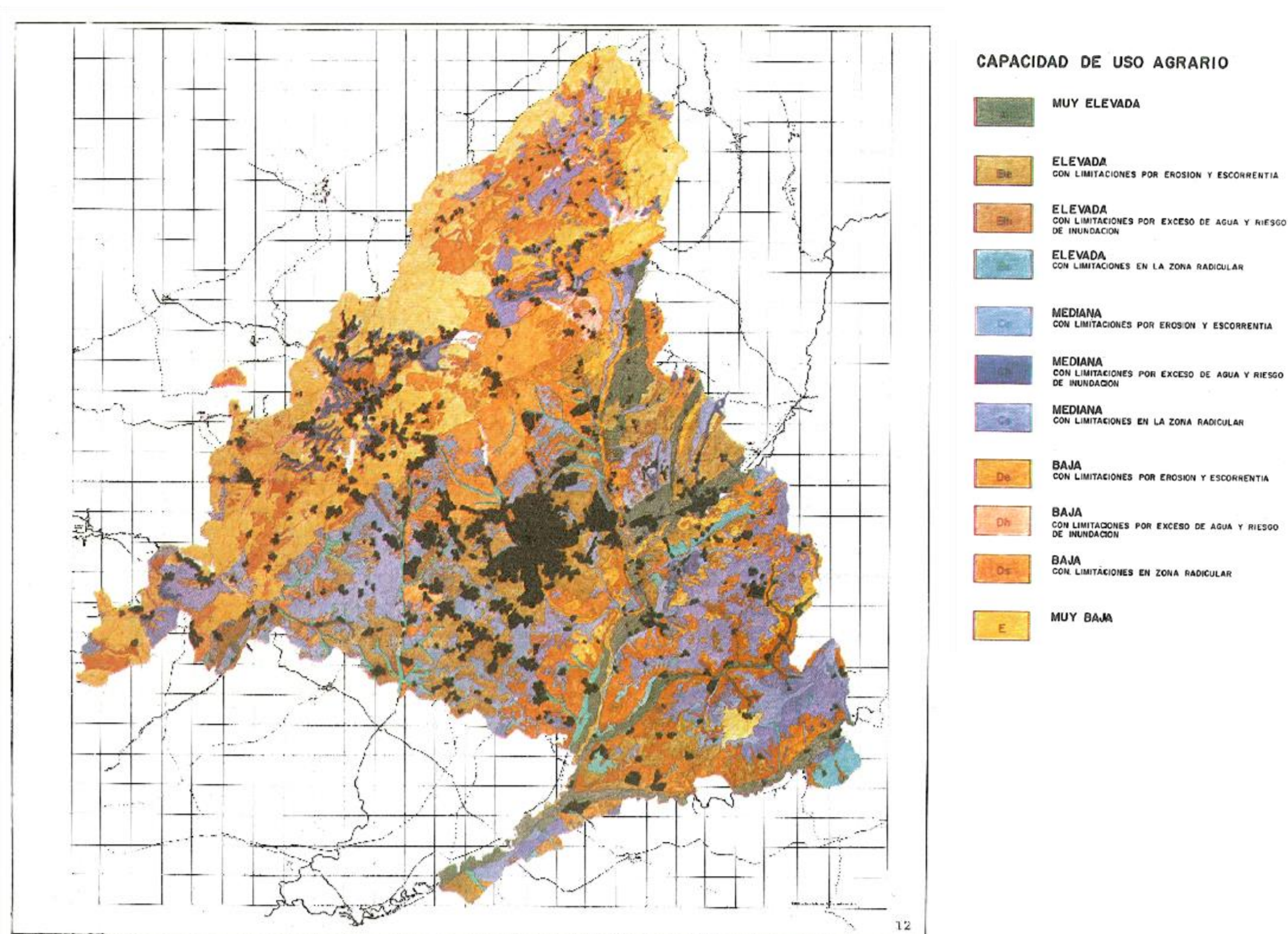


Figura 2-4. Mapa de capacidad de uso agrario, Documento Previo, Directrices de Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid. Fuente: Comunidad de Madrid (1985).

Dos años más tarde, en 1990, se establecen una serie de actuaciones y estrategias en el ámbito metropolitano, las cuales son reformuladas al año siguiente. Dichas estrategias tienen la voluntad de vincular a los municipios en la intervención en el territorio e impulsar la aparición de subcentros metropolitanos mediante la transferencia de funciones de capitalidad (Valenzuela, 2010). El objetivo del proyecto Madrid Región Metropolitana es, por tanto, crear un espacio regional integrado, reestructurando el modelo territorial, excesivamente concentrado, hacia un modelo que fomente la creación, en las periferias metropolitanas, de áreas de centralidad y una mayor dotación de servicios, articulando los distintos espacios regionales y mejorando la conectividad entre las zonas y la calidad urbana y ambiental de las mismas, fomentando, así, un mayor equilibrio norte-sur. Las políticas de transporte debían estar centradas en mejorar los niveles de conectividad dentro de la región y adecuar la utilización de cada modo de transporte al papel que le corresponde, evitando el despilfarro de recursos y contribuyendo así a un crecimiento más respetuoso del medio; el objetivo es desarrollar una política de transporte regional integrado, apoyada en el transporte público y mejorando la conexión viaria de las periferias metropolitanas entre sí y los sistemas de intercambio modal (figura 2-5) (Comunidad de Madrid, 1991).

El proyecto Madrid Región Metropolitana impulsará, como operaciones territoriales estratégicas: a) potenciar la centralidad del sur madrileño mediante la revitalización de las áreas industriales de Arganzuela y Villaverde para nuevas actividades y establecer así un nuevo foco de crecimiento terciario, y la operación Campamento, potenciando un eje desde el suroeste que conecte con el centro de la capital y con el corredor del Henares; b) estructurar el sur y el oeste metropolitanos, con la consolidación de ambas áreas, que tienen un fuerte exceso de residencia en relación con el empleo localizado, dotándolas de suelo para actividad económica, articulando el sistema de espacios libres y mejorando las conexiones viarias tangenciales y los accesos ferroviarios y viarios; c) reforzar el corredor del Henares, para impulsar una reactividad económica, mediante actuaciones de suelo, infraestructuras y mejora ambiental; d) potenciar polos metropolitanos en Alcobendas-San Sebastián y Arganda-Rivas: al norte se plantean actuaciones terciarias e implantación de usos institucionales y empresas vinculadas a la investigación, con un crecimiento residencial de forma pausada, ampliación del aeropuerto y enlaces ferroviarios; al sureste se conciben áreas residenciales y de actividad económica; y e) consolidar el sistema de asentamientos de la corona regional, con el objetivo de mejorar la calidad de vida mediante la difusión de servicios y localización de actividades económicas modernas en núcleos de cabecera, conectándolos entre sí y conservando los recursos naturales.

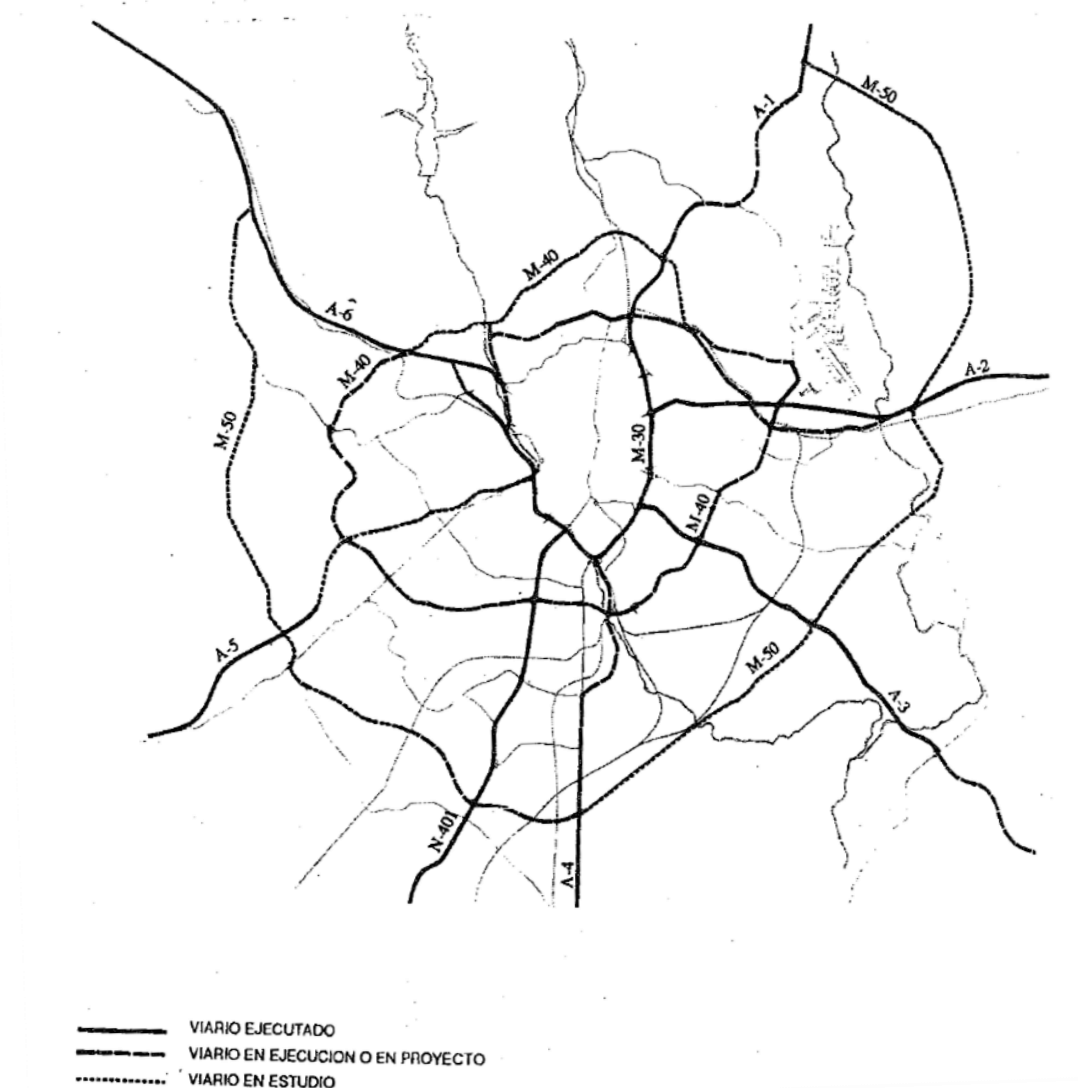


Figura 2-5. Viarios ejecutados, en ejecución o en proyecto y en estudio presentes en las Actuaciones y Estrategias del proyecto Madrid Región Metropolitana. Fuente: Comunidad de Madrid (1990).

Las infraestructuras adquieren un papel prioritario en el proyecto estratégico por su función canalizadora de desplazamientos y su carácter estructurante y articulador del territorio. Los elementos del sistema de transporte, que configuran la nueva estructura metropolitana propuesta, son: ampliación de la red de Metro y mejora de los servicios de Metro y de la red de autobuses; potenciación del transporte colectivo para el acceso al centro metropolitano, mediante la adecuación de la red ferroviaria de cercanías y la conectividad de las redes en las relaciones centro-corona metropolitana; y transformación del actual carácter radial de la red, mediante su mallado tangencial y el desarrollo de las vías perimetrales en el sistema viario metropolitano (Comunidad de Madrid, 1990).

Más tarde, la Ley 9/1995, de 28 de marzo, de Medidas de Política Territorial, Suelo y Urbanismo, opta por utilizar la escala territorial para la actividad planificadora y se crea el instrumento del Plan Regional de Estrategia Territorial (PRET) (Hortigüela et al., 1997; Valenzuela, 2010), donde se establecen las Actuaciones de Interés Regional que habilitarán a la Comunidad Autónoma para la preparación de suelo urbanizado en los ámbitos definidos por el propio Plan para la realización de operaciones urbanísticas estratégicas, a través de lo que la Ley denomina Zonas de Interés Regional.

En el Documento preparatorio de las Bases de dicho Plan, el territorio se descompone en piezas, para cada una de las cuales se establece unos objetivos y unas propuestas de actuación que tratan de recomponer el espacio y establecer su vertebración; la propuesta por territorios se completa con la determinación de un conjunto de subcentros regionales y centros comerciales cuya función es el reequilibrio, mediante la localización de los equipamientos, y con una funcionalidad y objetivos específicos en el marco de las piezas territoriales en las que se insertan. Finalmente, se configura un sistema de espacios libres que completan el conjunto de la propuesta (Benabent, 2006).

Concretamente, se privilegiaba la desconcentración de actividades en beneficio de determinadas centralidades a escala regional, articuladas a su vez en dos grandes operaciones territoriales: Aeropuerto-Corredor del Henares y Gran Sur Metropolitano, y se crea la figura de Proyectos de Alcance Regional para la ejecución de infraestructuras, equipamientos e instalaciones de carácter supramunicipal. El Documento Preparatorio tenía, así, la voluntad de concentrar el crecimiento urbano en las dos áreas citadas anteriormente, sobre argumentos a favor de la sostenibilidad y del control sobre las tendencias dispersas, con apoyo en el transporte público, la mejora de la habitabilidad de las ciudades, control de la tercerización, revitalización y recualificación de las periferias, entre otros (Valenzuela, 2010).

Sin embargo, en 1995, se produce el cambio político en el Gobierno de la CM y se redacta, en 1996, un nuevo documento, el Plan Regional de Estrategia Territorial, Bases. El cambio esencial con el anterior PRET será la sustitución del modelo radioconcéntrico por un modelo de organización en malla reticular, que permitiría abordar la congestión del espacio central de la región, mediante cuatro estrategias de gran impacto territorial: la Gran Base Logística, la Operación Vivienda, la Red Ferroviaria Regional y el Mallado Verde Jerarquizado (Benabent, 2006; Valenzuela, 2010). La política sectorial de vivienda propuesta por el PRET, proponía la construcción de 500.000 viviendas nuevas en un horizonte cronológico colocado en 2016, ubicándose éstas en la franja central de la región a lo largo del eje ideal Guadalajara-Toledo. Dichas bases no se sustanciaron en la aprobación legal del PRET y solo se llevaron a cabo unas grandes actuaciones de vivienda en Navalcarnero y Arroyomolinos,

así como la implantación, en posición aislada, de varias operaciones de comercio y ocio, como Xanadú y el Parque Warner (Valenzuela, 2010).

Según Benabent (2006, p. 234) este documento *“supone un paso atrás, cuyos mapas “analógicos” pretenden una abstracción geométrica del territorio y confunde más que contribuyen a la comprensión de su contenido”*, ya que el modelo de OT está basado en la utilización de una cuadrícula. Valenzuela (2010, p. 113), a su vez, comenta que *“más que propuestas estructurales para todo el territorio regional, se trataba de proyectos concretos sin un planteamiento estratégico real”*. Hortigüela et al. (1997) critican de éste, la visión abstracta del territorio y la concepción urbanicista, así como la falta de conocimiento medioambiental en general.

En cuanto al planeamiento municipal de Madrid, el Plan General de Ordenación Urbana de 1997, actualmente en vigor, sustituye al Plan General de Ordenación Urbana que fue aprobado en 1985. Consiste en un compendio de las Normas urbanísticas, y divide el territorio municipal en tres tipologías:

- Suelo urbano: incluye el suelo urbano común, las áreas de planeamiento incorporado, las áreas de planeamiento específico y las áreas de planeamiento remitido,
- Suelo urbanizable: incluye el suelo urbanizable programado incorporado, el suelo urbanizable programado y el suelo urbanizable no programado,
- Suelo no urbanizable: incluye el suelo urbanizable común y el suelo no urbanizable protegido, el cual se divide en suelo urbanizable de protección especial.

Los espacios de alto valor ecológico y paisajístico que considera dicho Plan son, dentro del municipio, el monte de El Pardo, y fuera de éste, el Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares y el Parque Regional de los cursos bajos de los ríos Manzanares y Jarama.

El Plan General de Ordenación Urbana de Madrid de 1997 planteó más de 216.000 viviendas y programó, en la práctica, la urbanización de todo el suelo vacante del municipio, con excepción del Monte del Pardo (de Santiago, 2008a; de Santiago, 2008b).

Posteriormente, con la Ley 6/1998, de 13 de abril, sobre régimen de uso y valoraciones y la Ley 9/2001, de 17 julio, del Suelo de la Comunidad de Madrid, con actualización de 2/2005, se clasifica como suelo urbanizable el suelo que no es suelo urbano ni suelo no urbanizable de protección. Así, de acuerdo con la Disposición Transitoria Primera, apartado c) al suelo clasificado como no urbanizable común, se le aplicará el régimen de suelo urbanizable no sectorizado.

Tal y como comenta Valenzuela (2010), la Ley 9/2001 del Suelo de la Comunidad de Madrid permitió edificar sobre terrenos que no estuvieran expresamente protegidos y dejaba las manos libres a los ayuntamientos para transformar extensas zonas municipales en urbanizables. El planeamiento urbano queda abandonado a las escalas regional y subregional, pues se le otorga su exclusividad a las políticas sectoriales.

En esta línea, ha que señalar que, a nivel estatal, el artículo 12.2.b del Real Decreto Legislativo 2/2008, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Suelo, atribuye que se debe configurar como suelo rural al suelo urbanizable.

2.4. LA COMUNIDAD DE MADRID DESDE LA PERSPECTIVA DE LOS CAMBIOS DE USOS DEL SUELO.

2.4.1 Introducción

Este apartado tratará la evolución, en cuanto a los usos del suelo, las actividades económicas y las dinámicas demográficas, que ha venido experimentando la CM en el periodo comprendido entre los años 1982 y 2006.

Se ha considerado interesante incluir un epígrafe de antecedentes, donde se trata la evolución de la región desde mediados del siglo XX, situando como punto de partida los años 50, ya que es en esta década cuando se empieza a producir un cambio notable en cuanto a la configuración actual de usos del suelo, debido al proceso de emigración del campo a la ciudad.

Al mismo tiempo, dado que la evolución que ha seguido la CM hasta el año 2006 dista mucho de la trayectoria que está siguiendo en esta segunda década del siglo XXI, se ha incluido un epígrafe adicional para tratar los factores y posibles consecuencias de la crisis económica actual. Este apartado, además, tiene importancia para el capítulo de escenarios futuros de usos del suelo y, muy en particular, en la creación del escenario de recesión económica.

La condición de capital política del Estado justifica la fuerte concentración de actividades administrativas y financieras en la CM, las cuales han actuado, a su vez, como elemento de atracción de otras actividades, tanto industriales como de servicios, al tiempo que se generaba un gran crecimiento demográfico y urbano (Estébanez, 1990). Madrid se configura hoy como un importante centro de producción, gestión, consumo, intercambio y redistribución, así como principal nodo de interconexión de la economía española al sistema mundial (Méndez, 2001a; Méndez, 2001b).

La evolución de Madrid a lo largo del último medio siglo ha estado marcada por el tránsito de una ciudad nuclear hasta la configuración de una región

metropolitana (García Palomares y Gutiérrez Puebla, 2007), la cual, hoy en día es el área urbana de mayor dimensión, no sólo de España sino de toda la Europa meridional (Méndez, 2013). Madrid ha llegado a constituir un espacio metropolitano principal cada vez más amplio, un espacio de flujos socioeconómicos diarios intensos, hasta constituir una auténtica ciudad-región, extendiendo su influencia directa a otras Comunidades Autónomas próximas (Molina, 2002).

2.4.2 Antecedentes históricos

Hasta los años 50 del siglo XX, Madrid fue una ciudad compacta, donde los límites entre el continuo urbano y el campo aparecían bastante bien definidos. La anexión al término municipal de Madrid, entre 1948 y 1954, de los municipios continuos a la capital (Aravaca, El Pardo, Fuencarral, Chamartín, Hortaleza, Canillas, Canillejas, Vicálvaro, Vallecas, Villaverde, Carabanchel Alto y Carabanchel Bajo) dio como resultado que los antiguos núcleos urbanos del extrarradio se soldaran al continuo urbano de Madrid (COPLACO, 1980; Quintana, 1991).

En estos años, la red de asentamientos mantenía un carácter esencialmente rural, donde sus actividades principales eran la agricultura y la ganadería. Los servicios y la actividad industrial se hallaban fuertemente concentrados en la propia capital (Zárate, 2003b). Ésta reunía ya una elevada concentración de población y empleo en un espacio urbano compacto, poco extenso, rodeado de un territorio con poca población y características todavía rurales (García Palomares y Gutiérrez Puebla, 2007), donde las únicas localidades de más de 10.000 habitantes eran Alcalá de Henares, Getafe y Aranjuez.

Es a partir de esta década cuando se experimentan crecimientos de población más acusados, que se concentran sobre todo en el municipio de Madrid y en la primera corona, donde se van asentando todos los trabajadores que acuden a la capital desde otras provincias españolas (Leal y Domínguez, 2009). Empiezan a surgir, alrededor de Madrid, ciudades dormitorio a modo de ensanches metropolitanos con elevadas densidades y apoyados en grandes bloques de viviendas en altura (García Palomares y Gutiérrez Puebla, 2007). Este aluvión migratorio, que atraía por aquel entonces la capital, no se dio por igual en todos los municipios metropolitanos: fue muy intenso en un reducido grupo, mientras que en buena parte del resto de la región la población permanecía estancada o en regresión. Así, se registró una gran expansión constructiva de viviendas modestas en Alcorcón, Móstoles, Parla, Fuenlabrada, Leganés, Coslada, Alcobendas, Torrejón de Ardoz..., intercalados con otros de mayores pretensiones de calidad y nivel adquisitivo, como Majadahonda, Boadilla del Monte o Las Rozas (Naredo y García Zaldivar, 2008).

Podían distinguirse dos grupos diferenciados: los municipios pertenecientes a la corona metropolitana, que registraban gran crecimiento poblacional, y los municipios escasamente poblados, que albergaban asentamientos, a veces mucho más extensos que su propio casco, destinados, sobre todo, a segunda residencia, como Nuevo Baztán o Villaviciosa de Odón (Naredo y García Zaldivar, 2008).

En este crecimiento adquiere gran protagonismo la red de carreteras, tanto por su mejora como por la generalización del automóvil como medio de transporte privado y el camión para las mercancías. De Santiago (2008a) comenta que el franquismo apostó claramente por las carreteras como medio para conseguir la plena integración territorial, especialmente a partir de 1950.

Todos estos procesos generaron en Madrid una radical segmentación espacial y social, con un centro que acumulaba todos los poderes de decisión y control del proceso, y una periferia metropolitana desestructurada, de cuya formación especulativa se derivaron graves problemas ambientales, de ordenación urbana, de vivienda, de infraestructuras, de equipamiento y, en suma, de calidad de vida.

Aparecía una dualidad, de contrastes morfológicos, funcionales y sociales entre las diferentes áreas de la ciudad y, más tarde, de la región, con un noroeste de vocación residencial y mayor calidad ambiental, frente a un sureste destinado a la localización de industrias y equipamientos generadores de impactos negativos sobre su medio ambiente, que albergó a los grupos sociales de menor renta y condiciones de vida más precarias (Méndez, 2001a).

La población, entre 1956 y 1980, experimentó mayor crecimiento en la Zona metropolitana (definida como tal según el Consorcio de Transportes) que en la zona no metropolitana. La zona metropolitana multiplicó por 2,1 su número de habitantes, mientras que la zona no metropolitana lo hizo solo por 1,2. Sin embargo, el número de viviendas y la superficie ocupada por la urbanización y sus servidumbres, crecieron con más fuerza en la zona no metropolitana que en la zona metropolitana, multiplicándose, respectivamente, por 3,5 y por 5 en la zona no metropolitana, y por 3,3 y 3,2 en la zona metropolitana (Naredo y García Zaldivar, 2008).

Mientras tanto, en el territorio rural, su base económica, la agricultura, estaba sufriendo, a escala nacional y regional, una profunda reestructuración que prolongaba su declive (Comunidad de Madrid, 1990).

En cuanto a la industria, hasta los años 60, el espacio industrial madrileño había estado caracterizado por una fuerte concentración del empleo y de centros de trabajo en la capital; el resto de la provincia había permanecido como un entorno esencialmente rural. Es, a partir de estos años, cuando la industria comienza a extenderse de forma selectiva hacia la periferia. El

elevado precio del suelo industrial en la capital, su progresiva saturación y las restricciones del planeamiento urbanístico, junto con la mejora de la red de carreteras y la disponibilidad de suelo abundante y relativamente barato en los nuevos polígonos industriales de la corona metropolitana, fueron los principales factores que favorecieron la difusión industrial. Esta ola difusora no conformó un verdadero cinturón industrial, sino que se dirigió, principalmente, hacia los municipios de la corona sur y del corredor del Henares (Estébanez, 1990; Quintana, 1991; Gutiérrez Puebla, 2004).

Se observa una tendencia hacia la especialización industrial de determinadas áreas de la provincia; así, el sur metropolitano, que comprende el distrito de Villaverde recientemente anexionado a la capital y el área delimitada por las carreteras de Andalucía y Toledo, con los municipios de Getafe, Pinto, Leganés, será el que concentre la industria de mayor antigüedad. Conforme avanzan los años 70 y, a medida que el sur industrial se va colmatando, las nuevas empresas buscan como área de localización el gran eje del este, articulado en torno a la carretera de Barcelona. Finalmente, en el norte, los polos industriales de Alcobendas y San Sebastián de los Reyes serán lugares de instalación de pequeñas y medianas industrias (Bahamonde y Otero, 1989); dicha industria contaba con una relativamente importante incorporación de tecnología, conectada con el capital internacional, y con una producción por empleo superior al promedio nacional (Estébanez, 1990).

Así pues, es a partir de esta década también cuando Madrid inicia su consolidación como una metrópoli industrializada. El hecho de que su desarrollo industrial estuviera principalmente ligado a la producción de bienes finales, incidió en la notable diversificación del sistema industrial metropolitano. Empieza, también, a desarrollar un amplio sector terciario y Madrid se va convirtiendo en un polo nacional de concentración de servicios, que crece rápidamente a medida que se va consolidando el modelo industrial en el país (Bahamonde y Otero, 1989; Quintana, 1991). Huelga decir que este incremento de la industria se hizo a costa de la agricultura.

La expansión económica de los años 60 y 70 conlleva, la ampliación y modernización de su base industrial y el desarrollo de un amplio sector terciario, apoyado en la centralización de las funciones de decisión política y económica. Esta expansión económica tuvo otras importantes consecuencias, generando entre otros procesos (Comunidad de Madrid, 1990):

- Un notable crecimiento demográfico, basado en la inmigración masiva desde las regiones más atrasadas de la meseta y de la periferia peninsular, pasando la población provincial de 2.600.000 habitantes en 1960 a 4.300.000 en 1975.
- Una expansión desmesurada del sector construcción, impulsada principalmente por las crecientes necesidades de alojamiento.

- Una completa modificación de las pautas espaciales de asentamiento. Se reestructuraron profundamente las áreas centrales, se amplió considerablemente el continuo urbano y se conformó un sistema periférico metropolitano de carácter polinuclear, basado en la acelerada transformación de los pueblos más próximos en ciudades-dormitorio y en la formación de extensas áreas industriales.

En los años 70, este modelo de desarrollo económico entró en crisis y, en la región madrileña, supuso la superposición de un conjunto de problemas y tendencias negativas (Comunidad de Madrid, 1990):

- Una crisis del sistema industrial metropolitano, que produjo el hundimiento de buena parte de la estructura productiva, generando drásticas pérdidas de ocupación en el sector secundario. Como consecuencia, se produjo una descentralización productiva y el desarrollo de formas marginales de actividad, cuyo impacto sobre el territorio fue de dimensiones espectaculares, generando amplios tejidos industriales de pequeña empresa, con frecuencia carentes de ordenación, infraestructuras y servicios.
- Una crisis social, marcada por la tremenda reducción del empleo, la precarización de las condiciones laborales, la progresiva segregación y marginación de amplias capas de la población urbana y, en general, un progresivo incremento de la segmentación social y espacial.
- Una crisis del sector construcción y de la actividad inmobiliaria, marcada básicamente por la retracción de la demanda de vivienda, derivada tanto de la disminución del crecimiento de población como de la drástica reducción de la capacidad de ahorro.
- Una crisis urbana, marcada por un medio sumamente degradado, efecto tanto de las peculiaridades del crecimiento anterior, realizado de forma escasamente planificada, en muy corto espacio de tiempo y bajo la dominación de intereses netamente especulativos, como de la incidencia de la crisis económica de esos años, que tuvo notables repercusiones en el reforzamiento de la segmentación social del espacio urbano.

La crisis de 1973 supuso un frenazo súbito de los procesos migratorios campo-ciudad y del *boom* demográfico que había alimentado el crecimiento urbano. (de Santiago, 2008a). El modelo de gran fábrica entra en recesión y surgen multitud de pequeñas y medianas empresas en mini-polígonos industriales con mínimas dotaciones, en los bordes de los espacios industriales consolidados, ya sea en el sur, en ambos márgenes del corredor del Henares o en otros núcleos como Arganda (Gutiérrez Puebla, 2004).

El crecimiento de la metrópoli durante estos años no se produjo de una forma ordenada ni planificada. De hecho, como apuntan Naredo y García Zaldivar (2008, p. 83) *“el crecimiento de la ocupación del suelo acusa ya en una*

profunda asimetría con el comportamiento de la población, debido a la presión que sobre la ocupación del suelo ejercía la aglomeración madrileña, tanto demandando suelo para segundas residencias como para servidumbres en forma de usos o actividades indirectas”.

2.4.3. Desde la década de los 80 hasta principios del siglo XXI

A partir de mediados de los años 80, se produce una recuperación económica con la entrada de España en la Comunidad Europea. Se origina un proceso de internacionalización debido a la apertura e integración de la economía española en el mercado común europeo y se produce un flujo de inversiones extranjeras hacia nuestro país, que conlleva a un rápido crecimiento de la demanda doméstica y al reforzamiento de la posición oligárquica de las grandes entidades financieras e inmobiliarias (Comunidad de Madrid, 1990; Rodríguez y López, 2011). Asimismo, con la llegada de cuantiosos fondos europeos de cohesión, se posibilita la intensificación de la reticulación y la introducción de la filosofía de las hiperconexiones en las grandes ciudades (de Santiago, 2008a). A esto se le suma el nacimiento de Madrid como autonomía, en 1982, lo cual es un factor determinante de transformación del modelo territorial madrileño (Zárate, 2003a).

En este escenario, la región de Madrid representó un enclave estratégico. La progresiva saturación y encarecimiento del suelo en la ciudad, junto a la mejora general de las comunicaciones o la creciente oferta de espacios de promoción pública y privada para albergar actividades en otros municipios, comienzan a reducir la concentración en la capital (Méndez, 2001a). Esto se vio favorecido por las políticas estatales de reindustrialización canalizadas a través de las Zonas de Urgente Reindustrialización (Z.U.R), especialmente en el sur y suroeste, en el Corredor del Henares y en la ciudad nueva de Tres Cantos (Valenzuela, 1990).

Sin embargo, el factor que más influencia tiene es el peso del sector terciario, que ocasiona la descentralización de las actividades terciarias de los grandes equipamientos privados y públicos, de los centros comerciales y de ocio, además de una concentración de actividades de I+D en la región (Comunidad de Madrid, 1990; López de Lucio, 2003).

Este crecimiento se ve ralentizado en 1992, con la crisis del Sistema Monetario Europeo, para luego volver a recuperarse a partir de 1995, con la creación de siete millones de nuevos puestos de trabajo, una tasa de inflación baja y un crecimiento espectacular del crédito (Rodríguez y López, 2011).

El nuevo crecimiento económico produjo una importante expansión de la fuerza de trabajo, con un incremento de las rentas familiares debido a la entrada en el mercado de trabajo de la mujer (Burriel, 2011).

Entre los años 1998 y 2006, las unidades de actividad económica existentes en la región aumentaron un 30,33%. El mayor incremento (63,34%) se produjo en los municipios no metropolitanos, que duplicaron la tasa de crecimiento global de la región; por detrás se situó la corona metropolitana, con un incremento del 47,69%, mientras que el municipio de Madrid aumentó únicamente un 19,26%. Estas cifras ponen de manifiesto la continuación de un proceso de descentralización territorial de la actividad económica que se viene produciendo desde comienzos de los años ochenta y que se ha intensificado en los últimos años. La paulatina modificación de las pautas de localización ha estado asociada a la aparición de diferentes operaciones de espacios para la actividad económica; unas responden a las estrategias de grandes empresas, que han decidido concentrar la multitud de centros operativos que tenían en la región en un único emplazamiento, con la finalidad de obtener ahorros de costes y mayores sinergias en su funcionamiento (Telefónica, Banco Santander); otras son actuaciones públicas que tratan de modelar el espacio económico de la región, con objetivos de reequilibrio en algunas ocasiones, ya sea para introducir actividades de mayor valor añadido en zonas tradicionales y, en otras, para fomentar la localización de empresas, que posteriormente actúen como foco catalizador de nuevas implantaciones (Celada, 2009).

En cuanto a la población, el crecimiento demográfico que se había registrado en la CM a principios de la década de los 70, se desacelera a partir de los 80, registrando, en 1981, 4.726.986 de habitantes. Las pautas fundamentales de esta desaceleración han sido las siguientes (Comunidad de Madrid, 1990):

- Una profunda reducción del importante saldo inmigratorio neto del periodo anterior. El crecimiento tiende a reducirse solamente al componente vegetativo.
- Una fuerte reducción de la fecundidad, con un índice sintético de 1,41 hijos por mujer en 1987, lo que repercute en un considerable descenso de los nacimientos.

Madrid capital pierde población por primera vez en su historia demográfica, mientras las ciudades de su área metropolitana siguen creciendo, especialmente las que se sitúan en el sur y este de la corona (Bodega Fernández et al., 1983; Vinuesa Angulo, 1985; Vinuesa Angulo, 1994; AA.VV, 2002). Se produce así una fuerte expulsión de la población desde la capital hacia el resto de la Comunidad, que continuará en las décadas siguientes.

A partir de la segunda mitad de los 90, se vuelve a experimentar un crecimiento poblacional, asociado de nuevo al flujo inmigratorio (Pozo Rivera, 2005; Leal y Domínguez, 2009), especialmente de latinoamericanos. Los 4.947.555

residentes en la región en 1991, pasaron a conformar 5.432.384 en el 2001 y a 6.421.874 en 2011. Este crecimiento se basó en la atracción de una inmigración exterior en busca de empleo: Madrid se convierte, así, en un potente polo de atracción para un gran número de trabajadores, gracias a las altas tasas de crecimiento económico (3,7% de promedio anual entre 1995 y 2008) que refuerzan su primacía en España (17,8% del PIB) e hicieron posible una masiva creación de empleos (Méndez, 2013). La población ocupada creció en más de 1,2 millones (+69,6%), lo que representa un volumen desconocido en cualquier periodo anterior y muy por encima del promedio español (+50%) (OECD, 2007; Méndez, 2013).

Esta recuperación del crecimiento demográfico se produjo en las áreas maduras, pero también en lugares cada vez más alejados del centro, en los bordes del área metropolitana o en las zonas suburbanas y periurbanas adyacentes, asociados a la explosión residencial (Pozo Rivera, 2005; de Santiago, 2008b).

Dicho crecimiento muestra una importante polarización y una mayor desconexión entre población y ocupación del suelo. Como se ha comentado, el crecimiento se produce hacia puntos cada vez más alejados de la capital, denotando el carácter explosivo del crecimiento propio del modelo de conurbación difusa. Municipios de características muy diversas se sitúan a la cabeza del crecimiento poblacional al albergar *“operaciones urbanísticas muy potentes que caen por el territorio de forma aparentemente errática e incontrolada”* (Naredo y García Zaldivar, 2008, p. 83).

Así, entre 1980 y 2005, la población de la zona no metropolitana acelera su crecimiento, multiplicándose por 2,2, mientras que la zona metropolitana apenas se multiplicó por 1,2; el número de viviendas creció en la zona no metropolitana al mismo ritmo que la población, denotando su mayor orientación hacia la primera vivienda. Sin embargo, la superficie artificial aumenta en este periodo en la zona metropolitana a una tasa ligeramente superior a la del resto del territorio debido, sobre todo, a la enorme expansión del suelo en transformación, que multiplica por 4,1 su superficie. En el caso del municipio de Madrid, la expansión del suelo en promoción es todavía mucho más espectacular, al multiplicarse por 17,1 (Naredo y García Zaldivar, 2008).

Entre 1991 y 2006, dentro del área metropolitana, la zona sureste destaca por su elevado crecimiento demográfico, con un incremento medio del 126,7%, e inmobiliario, 404,5 viviendas por cada 1.000 habitantes, más del triple de la media regional. En la segunda corona metropolitana sur emergen municipios como Pinto, Humanes o Valdemoro, que experimentan importantes crecimientos demográficos ligados a un espectacular desarrollo inmobiliario. Por su parte, la zona norte conjuga unas tasas de incremento de la población,

el empleo y las licencias de vivienda que duplican la media de la región (de Santiago, 2008b).

Una consecuencia de la fuerte expulsión de parte importante de su población hacia otros municipios de la región, es la aparición de flujos cotidianos de gran intensidad desde el lugar de residencia al lugar de trabajo (Zárate, 2003b).

En cuanto a los usos naturales y agrícolas, a principios de los años 80, los espacios dedicados al secano ocupaban 250.000 ha., lo que supone cerca del 90% del total de la superficie de la CM dedicado a las tierras de cultivo (Comunidad de Madrid, 1984). Concretamente, la labor intensiva representaba el 24,99% de la superficie provincial; el olivar representaba el 2,66%, situándose en la mitad sur y, más específicamente, en la comarca de las Vegas, ocupando terrenos marginales; el viñedo representaba una superficie de 24.754 ha, localizado al sur de la provincia, especialmente en los términos municipales de Arganda, San Martín de Valdeiglesias y Navalcarnero. Los regadíos ocupaban, en el año 1982, una extensión de más de 30.000 ha., los cuales se asentaban en las vegas y terrazas de los ríos Manzanares, Henares, Tajuña, Jarama, Alberche y Tajo (Comunidad de Madrid, 1984; MAPA, 1985). Los prados naturales representaban el 1,45% de la superficie y se localizaban, principalmente, en la comarca de Lozoya-Somosierra. En cuanto al matorral, éste representaba 172.383 ha., que suma el 21,56% de la superficie total; es el segundo en importancia superficial, tras los cultivos herbáceos de secano, destacando las formaciones de piornales, brezales, jarales, retamares y tomillares. La superficie arbolada suponía el 12,8% de la superficie total, con un claro predominio de las coníferas sobre las frondosas, siendo la encina la especie más dominante (MAPA, 1985).

Veinte años después, el escenario es muy diferente. En el año 2000, las tierras de cultivo ocupan una extensión de 229.428 ha., lo que supone un 28,6% de la superficie total de la CM. Los cereales son los que ocupan mayor extensión, con un 37% de la superficie de tierras de cultivo, seguido del olivar, con un 9%, el viñedo, con un 8%, y las leguminosas productoras de grano, 4%. De los cultivos en secano, el que abarca mayor superficie es la cebada, seguido del trigo. En regadío, la superficie dedicada al cultivo de cereales está dominada por el maíz (MAPA, 2003).

Hoy en día, el espacio agrario madrileño está sometido a fuertes presiones urbanas e industriales que reducen su superficie y repercuten en su alto nivel de degradación. Con bajos rendimientos, una reducida dimensión de las explotaciones y la caída continua de precios de los productos, obstaculiza la viabilidad económica de la actividad agraria, donde los beneficios son prácticamente inexistentes y los ingresos, en ocasiones, ni siquiera cubren los costes de cultivo. Su dimensión económica es escasa, a pesar de tener el

incentivo de localizarse junto a un gran mercado urbano tan próximo (Méndez, 2001b).

La valorización de la misión ambiental de la agricultura en las áreas periurbanas de Madrid es fundamental para su mantenimiento y es necesario establecer los mecanismos de protección públicos que impidan el progresivo deterioro del espacio agrario y la marginación del sector (MAPA, 2003). Actualmente, la agricultura a tiempo parcial se impone sobre la agricultura a tiempo completo en la región y los empleos en la industria y los servicios superan ampliamente los proporcionados por la agricultura en todos los municipios de la región (Zárate, 2003b).

Respecto a los usos naturales, el sector forestal no tiene especial relevancia frente a otras ramas de la actividad económica; su importancia radica en el papel medioambiental y de esparcimiento que conforman. Tras la creación del estatuto de autonomía de la CM, la labor protectora y la gestión de los espacios naturales protegidos (ENP) se le es transferida; en este ámbito, inicia así su labor mediante la creación, en 1985, del primer Parque Regional: el Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares. Si bien, ya antes la región contaba con otros ENP, como son: el Monumento Natural de Interés Nacional de la Peña del Arcipreste de Hita, declarado en 1930; el que luego fuera Parque Natural de la Cumbre, Circo y Lagunas de Peñalara y, que en 1930, fue declarado Sitio Natural de Interés Nacional; el Paraje Pintoresco del Pinar de Abantos y zona de la Herrería, de 1961; el Sitio Natural de Interés Nacional del Hayedo de Montejo de la Sierra, de 1974; y el propio Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares, el cual, una pequeña parte de él, ya en 1930, estaba declarado como Sitio Natural de Interés Nacional. A éstos hay que sumar los que se declaran posteriormente. La relación de ENP puede consultarse en la tabla 2-2, en el apartado 2.2 de este capítulo. Solo los ENPs gestionados por la CM, sin contar otro tipo áreas protegidas como LICs, Zepas o Reservas de la Biosfera o la Red Natura 2000, ocupan más del 13% del territorio de la CM.

En cuanto a la evolución del sector industrial, éste presenta una distribución territorial compleja, en la que se superponen los contrastes entre las coronas centrales y las periféricas, entre los ejes y sus márgenes y entre los distintos sectores metropolitanos (Gutiérrez Puebla, 2004).

Durante los años 80, se incentivó la creación de nuevos espacios de calidad que resultasen atractivos para la implantación de actividades económicas; para ello, se combinaba con la realización de infraestructuras y con la mejora de los transportes públicos. Las áreas beneficiarias de tal política se hallaban a unos 25-30 km. del municipio de Madrid; son, principalmente, las áreas industriales de Torrejón de Ardoz, Fuenlabrada, Alcalá de Henares y Arroyo Culebro (Valenzuela, 1990). Se produce, además, una reducción del tamaño medio de

los establecimientos industriales y un proceso de periferización de las pequeñas y medianas empresas (PYMEs) en pequeños polígonos, que continúa entrados los años 90, aunque de forma más ralentizada y extendiéndose hacia localizaciones cada vez más lejanas (Méndez, 2001a; Gutiérrez Puebla, 2004).

Durante este último periodo, la industria experimenta un importante retroceso en la capital, siendo sustituida por otros usos económicos (terciario, comercio, etc.) y urbanos (viviendas). A su vez, la industria metropolitana cada vez está menos asociada a la noción tradicional de fábrica, en función del proceso de “terciarización” industrial (Méndez, 2001a; Celada, 2009). En las últimas dos décadas del siglo XX aparecen nuevos espacios industriales de calidad, parques industriales y parques mixtos, en los que se instalan empresas industriales muy terciarizadas, de pequeño tamaño y alta complejidad tecnológica (Gutiérrez Puebla, 2004).

La mayor parte de los municipios que tienen un mayor volumen de empleo y de nivel de especialización industrial se localizan aún en una amplia banda semicircular que envuelve la capital por el sur y este, tal como sucede desde hace décadas, pero se observa un claro desplazamiento de la inversión empresarial hacia el norte y el oeste metropolitano. El dinamismo de las nuevas zonas de actividad contrasta con las dificultades o el declive de las zonas tradicionalmente industriales, sobre todo del sur metropolitano, afectados por la reconversión del sector metal-mecánico y la gran fábrica (Méndez, 2001b; Celada, 2009). Aparece, así, una disimetría entre el norte, dinámico y con una industria limpia, terciarizada y tecnológica, en parques industriales y mixtos de calidad, y el sur metropolitano cuya dinámica reciente ha respondido a la desintegración vertical del proceso de producción de la gran fábrica y las prácticas de subcontratación a pequeñas empresas, donde las nuevas PYMEs de los espacios periurbanos tienen muy limitada capacidad para atraer nuevas inversiones. Entre ambos extremos se sitúa el corredor del Henares. Por otra parte, los crecimientos más recientes en la industria afectan, sobre todo, a pequeños municipios más periféricos e incluso rebasan ya los límites de la CM, tanto en la Sagra toledana como en el corredor del Henares (Gutiérrez Puebla, 2004).

En los últimos años, la industria madrileña ha aumentado su especialización en las producciones de mayor intensidad tecnológica. Ha habido una desintegración vertical del proceso de producción y la descentralización de tareas productivas ha supuesto la aparición de numerosas pequeñas empresas industriales. Se ha producido también una caída del tamaño medio de los establecimientos (Gutiérrez Puebla, 2004). Las actividades logísticas y de distribución comercial han ocupado los espacios empresariales promovidos junto a los grandes ejes viarios y en las ciudades metropolitanas situadas en un radio de 30 km. en torno a la capital. Sin embargo, todavía hay una resistencia

de otras actividades, como servicios avanzados, finanzas y seguros, sectores creativos, etc. a abandonar la ciudad (Méndez, 2013).

La creciente importancia de la logística en la economía madrileña y las necesidades derivadas, tanto de su fuerte crecimiento como de los procesos de modernización, han ido acompañados de la puesta en marcha de numerosas actuaciones que han contribuido a modificar el mapa de localización de estas actividades. Se han producido numerosas implantaciones de empresas de logística, a menudo ocupando y desplazando a las tradicionales industrias. El Plan de Infraestructuras Logísticas de la CM previó nueve centros logísticos, interconectados por la red de carreteras, con un total de 2.000 ha., localizándose en la A-1, M-404, A-5, M-405, M-410, M-506, A-3 y M-300 (Celada, 2009). Madrid se ha convertido en un importante centro de actividad logístico, que recibe el 60% de las mercancías internacionales que llegan a España y el 33% del flujo nacional (OECD, 2007). La logística aparece así como un elemento clave en la nueva forma de organización del espacio industrial madrileño, permitiendo la conexión de los espacios productivos entre sí y con los mercados de consumidores (Gutiérrez Puebla, 2004).

Las localizaciones dominantes de los nuevos espacios industriales de la periferia están claramente vinculadas a los principales ejes viarios (Gutiérrez Puebla, 2004). El número de polígonos industriales localizados en los principales ejes radiales es mayor que el de los localizados fuera de ellos y las diferencias se acentúan si se considera la superficie industrial, en vez del número de polígonos, ya que el tamaño medio de los polígonos es mayor en los ejes que fuera de los mismos. Los ejes que concentran una mayor cantidad de superficie industrial son los de la N-II, N-IV y N-401, mientras que el entorno de la N-VI se encuentra casi desprovisto de suelo industrial. Sin embargo, estas diferencias han tendido a suavizarse con el tiempo, debido a que los procesos de difusión industrial no sólo se han dirigido de Madrid hacia su periferia, sino también desde los ejes radiales hacia sus márgenes (Gutiérrez Puebla, 2004).

En cuanto a la cantidad de suelo industrial, se constata una elevada proporción de superficie industrial en el este (23,0% en el corredor de la N-II) y en el sur (19,3% en el corredor de la N-V y 16,6% en el de la N-IV) frente a la casi ausencia en el noroeste (3,5% en el corredor de la N-VI) (Gutiérrez Puebla, 2004).

Respecto a los servicios, la creación de suelo terciario se ha convertido, desde 1987, en una pieza imprescindible para trasplantar la centralidad fuera de la capital, para reducir la deseconomías que provoca su macrocefalia y para aliviar las excesivas presiones que el terciario ejerce sobre las áreas interiores de Madrid (Zárate, 2003b).

En 1990 había una fuerte concentración en el municipio de Madrid del mercado de trabajo. El 45% de los puestos de trabajo se concentraban en la “almendra central”, la cual se caracterizaba por acumular principalmente puestos de trabajo terciarios (comercio, hostelería, administración pública, sector financiero...), mientras que en la corona metropolitana destacaba la acumulación de empleos industriales (Comunidad de Madrid, 1990).

Dentro del sector terciario, el mayor crecimiento de puestos de trabajo se ha producido en el comercio, la hostelería y los numerosos servicios a la población orientados a satisfacer su creciente nivel de consumo (Méndez, 2013). El comercio y el ocio han contribuido, así, a la modificación del mapa empresarial, debido a la tendencia a localizar grandes superficies comerciales en la periferia urbana y metropolitana de la capital, que han generado la aparición de múltiples operaciones, algunas de muy grande dimensión (Celada, 2009; López de Lucio, 2003). Si en los primeros años, el emplazamiento de estas nuevas formas comerciales y de ocio dio prioridad a la mitad noroccidental de la aglomeración, por ubicarse allí los consumidores potenciales de mayor renta y movilidad habitual en vehículo privado, con posterioridad el fenómeno se ha difundido al conjunto del área metropolitana, cobrando especial importancia en sectores bien comunicados por las autovías radiales y orbitales (M-40, M-50...) construidas o ampliadas en estos años (Méndez, 2001b). Lo mismo ocurre con la mayoría de los parques de oficinas creados, los cuales, en los últimos años se han ubicado también en las inmediaciones de la M-30 y M-40 y en las conexiones de la M-50 con las autovías radiales y la red ferroviaria de cercanías (Méndez, 2001a; Zárate, 2003a).

Este gran desarrollo del sector servicios ha provocado una distorsión de la estructura sectorial. Los servicios aumentaron en más de un millón su cifra de empleos en sólo una década (+82,2%) y daban ya empleo al 77,2% de los ocupados en 2006, contrastando con un lento pero constante retroceso de la industria, que apenas ganó 17.000 empleos en un contexto tan expansivo como el de estos años (+5,3%), para quedar reducida al 11,2% de la ocupación total. La novedad más destacada fue el rápido crecimiento del sector de la construcción, que duplicó con creces su cifra de trabajadores (+102,0%) y llegó a representar un volumen laboral similar al de la industria, cuando apenas diez años antes equivalía a la mitad (Méndez, 2013).

En cuanto al crecimiento urbano, desde los años 80, se produce una expansión de población hacia áreas cada vez más alejadas de la ciudad, favorecido por el encarecimiento de la vivienda, la reconversión industrial, la expansión de los usos de ocio, la segunda residencia y la mejora de las comunicaciones (red de cercanías, cierre de la M-40, trazado de la M-45 y de la M-50) que colocan a la mayor parte de la Comunidad a poco más de una hora y media del centro de Madrid; esto deriva en un crecimiento de población en localidades más alejadas del núcleo central de la aglomeración madrileña, las cuales originan

nuevos espacios de centralidad en las periferias (Méndez, 2001b; Zárate, 2003b).

Así, durante los años 80 y, especialmente en las últimas décadas, surgen desarrollos urbanísticos alrededor de las nuevas vías de transporte (figura 2-6). La fórmula urbanística más utilizada para crear espacios residenciales nuevos se corresponde con los ensanches y PAUs (Programas de Actuación Urbanística Urgente) (Canosa Zamora, 1995). También aparecen nuevos desarrollos en torno de las ciudades dormitorio, con tipología de viviendas unifamiliares adosadas o bloques de poca altura y bajas densidades en forma de edificación compacta en manzana cerrada (Zárate, 2003a; García Palomares y Gutiérrez Puebla, 2007). Por otra parte, el aumento del nivel de vida difunde los fenómenos de segunda residencia prácticamente por toda la región (Zárate, 2003a), especialmente en la sierra de Madrid, asociados a un deseo de estar en contacto con la naturaleza y en un entorno medioambiental agradable y socialmente muy valorado (AA.VV., 2002).

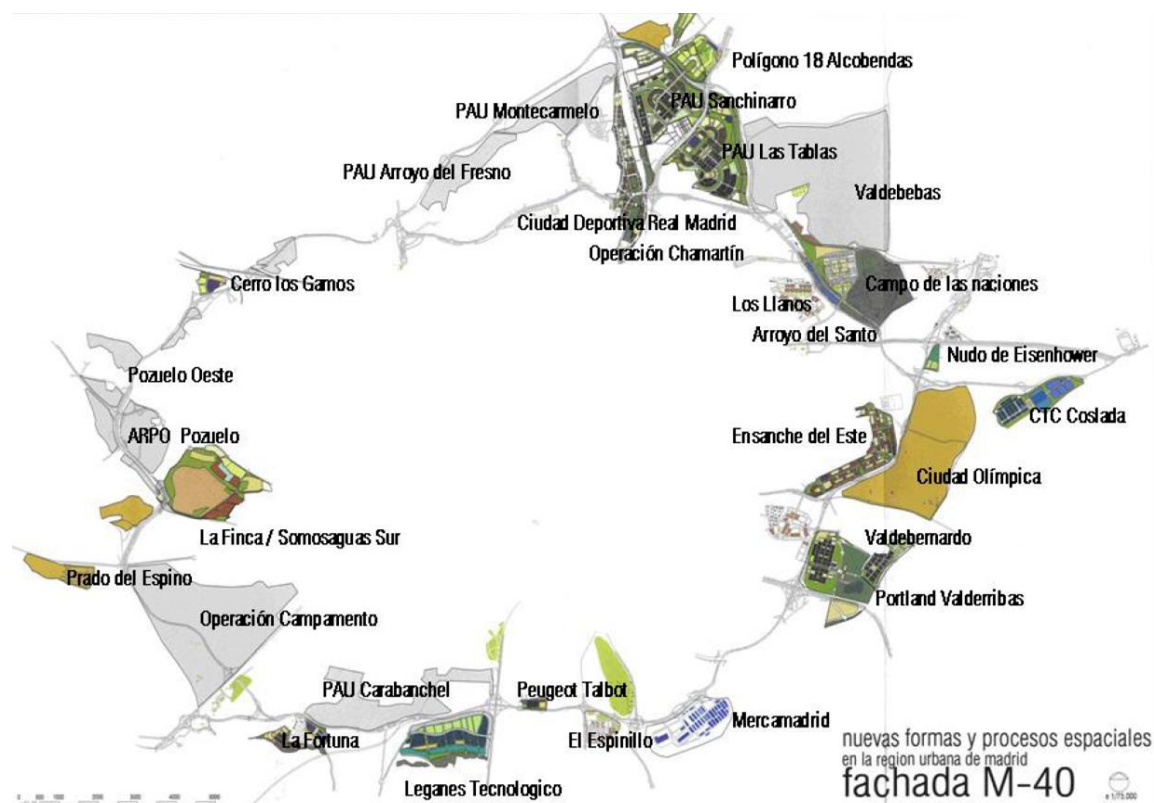


Figura 2-6. Desarrollos urbanísticos que gravitan en el entorno de la M-40. Fuente: De Santiago (2008a).

Los altos índices de actividad constructora en la periferia se producen debido a las diferencias territoriales en cuanto al precio de la vivienda entre el núcleo y los anillos metropolitanos, la preferencia por viviendas unifamiliares y la imagen positiva de vivir en áreas con poca población, más seguras, saludables y tranquilas, asociado también a un crecimiento de las infraestructuras y del

transporte público, que ha hecho que estas áreas periféricas sean más accesibles (Burriel, 2011).

Como se ha dicho anteriormente, estos procesos de dispersión de la población van asociados a una demanda creciente de terrenos para parques empresariales y superficies comerciales en las periferias, localizados en torno a las principales carreteras (Zárate, 2003a; García Palomares y Gutiérrez Puebla, 2007).

La ciudad compacta tradicional se transforma en un espacio metropolitano cada vez más discontinuo, disperso y fragmentado (Angnes, 2005; García Palomares y Gutiérrez Puebla, 2007; García Palomares, 2010; Hewitt y Hernández-Jiménez, 2010).

En este periodo aparecen también nuevas zonas verdes y equipamientos (figura 2-7). Así, en 1979 la ciudad de Madrid presentaba escasísimas zonas verdes, deportivas o equipamientos. En las siguientes dos décadas se produce una auténtica revolución de nuevos parques, tanto en la almendra central como en la periferia de la ciudad, modificando el carácter de muchos distritos. Aparecieron 89 nuevos parques de superficie igual o superior a 2 ha., que totalizan 849 ha. de zonas verdes y se crearon más de 150 instalaciones deportivas y casi 500 equipamientos educativos, bibliotecas, centros culturales, etc. (López de Lucio, 2000).

Ya en el año 2000, la superficie ocupada por viviendas unifamiliares es mayor que la ocupada por las viviendas multifamiliares (63,1% y 36,9%, respectivamente) aunque en las primeras sólo vive el 10,7% de la población y en las segundas el 89,3%. En los desarrollos multifamiliares, las densidades netas caen desde los más de 300 habitantes por hectárea de la capital y la primera corona, a los 77,8 habitantes/ha. de la segunda o los 56,7 y 60,2 que presentan la tercera y cuarta corona. La importancia de los desarrollos unifamiliares se da, especialmente, en el oeste, donde se concentra el 42% de la población y el 77% de suelo y las menores densidades netas, tanto en vivienda multifamiliar como en unifamiliar. Frente al oeste, en el sur metropolitano destaca la impronta dejada por los desarrollos densos de los 60 y 70, de forma que el 92,3% de su población reside en viviendas multifamiliares, sobre el 65,4% del suelo, con densidades especialmente altas en estos desarrollos en altura; igualmente, los nuevos desarrollos unifamiliares de este sector sur presentan también densidades altas (60,4 habitantes/ha.) que se relacionan con un mayor predominio de los adosados (García Palomares y Gutiérrez Puebla, 2007).

La diferente modalidad de tipología de construcción de los desarrollos urbanísticos entre el norte y noroeste, y entre el sur de la CM, está en relación con las políticas de planeamiento urbanístico de los diferentes municipios y ayuntamientos; la visión de ciudad de las corporaciones locales fue diferente y

se apostó, en el norte, por construir siguiendo un modelo abierto y de poca densidad, mientras que en el sur se tendió a construir de forma compacta y con desarrollos densos y edificación en altura (de la Riva et al., 2011).



Figura 2-7. Comparación de los parques y zonas verdes significativas existentes en la ciudad de Madrid en 1979 y las creadas entre 1979 y 1999. En 1979 se concentraban en el Noroeste (Casa de Campo, Montes de El Pardo, Parque del Oeste) y en el Centro (Retiro y Campo del Moro). En las últimas dos décadas aparecen nuevos parques en las periferias, en los distritos de Latina-Carabanchel, Usera-Villaverde, Arganzuela, Puente de Vallecas, Vicálvaro, San Blas-Hortaleza-Barajas, Fuencarral-El Pardo, etc. Fuente: López de Lucio (2000).

Por otra parte, los factores explicativos de los nuevos desarrollos residenciales de baja densidad también se encuentran en la expansión de un nuevo modelo de vida, relacionado con una supuesta necesidad de contacto con la naturaleza y espacios abiertos. Si bien, hay que tener en cuenta que, este nuevo modo de vida, no sería posible sin la generalización del automóvil y la mejora de las infraestructuras viarias en las periferias de las ciudades. Asimismo, hay que considerar el precio del suelo, muy elevado en los espacios centrales de las áreas metropolitanas pero mucho más bajo en las periferias, donde es posible adquirir una vivienda más amplia a un precio más bajo. Finalmente, no hay que olvidar que estos nuevos espacios se encuentran en unas periferias muy distintas a las de hace algunos años, en las que cada vez existen más empleos y centros de actividad, resultando unas relaciones funcionales muy distintas a las de la metrópoli tradicional monocéntrica (García Palomares y Gutiérrez Puebla, 2007; García Palomares, 2010).

Así pues, durante estos años, puede decirse que el crecimiento urbano que se ha experimentado ha sido desorbitado. En las últimas décadas, tal y como describen Naredo y García Zaldivar (2008), se ha dado un *tsunami* de liquidez dispuesto a invertirse “en ladrillos” lo que ha desembocado en un *boom* inmobiliario sin precedentes, que ha afectado intensamente a la CM. Esta urbanización descontrolada, estuvo favorecida por la Ley del Suelo de 1998 (Méndez, 2013).

Este *boom* ha estado asociado a un fuerte aumento de población, de la producción, de la ocupación y de la renta, atrayendo un elevado volumen de inversión exterior y de población inmigrante, al tiempo que tenía lugar una acelerada transformación interna del espacio urbanizado, que supuso un consumo masivo del suelo (Méndez, 2013). El número de hogares ha crecido por encima de la población, algo que ya venía sucediendo desde los años 70, pero ahora se da con más intensidad; en menos de dos décadas, el stock de viviendas familiares pasó de 1,9 a 2,8 millones, lo que supuso un ritmo que casi duplicó el registrado por la población (Méndez, 2013).

En 27 años, desde 1980 a 2007, el parque de viviendas aumentó en la CM en un 66% (Naredo y García Zaldivar, 2008) y entre 1990 y 2000 las áreas urbanas crecieron superficialmente un 47,7% (OSE, 2006). Schneider y Woodcock (2008) estudian la evolución del crecimiento urbano de 25 ciudades medias de todo el globo, entre los años 1990 y 2000, y señalan que Madrid se encuentra entre las cinco primeras ciudades donde el crecimiento del núcleo de la ciudad, en porcentaje, ha sido mayor, por detrás de tres ciudades chinas (Guangzhou, Chengdu y Dongguan) y de Ankara (Turquía), pero por delante de ciudades como Guadalajara (México), Brasilia (Brasil), Hanoi (Vietnam) o Montreal (Canadá). Además, durante los años 2000 y 2006, Madrid muestra, a escala europea, una de las mayores intensidades de ocupación artificial, tal y como detalla la figura 2-8.

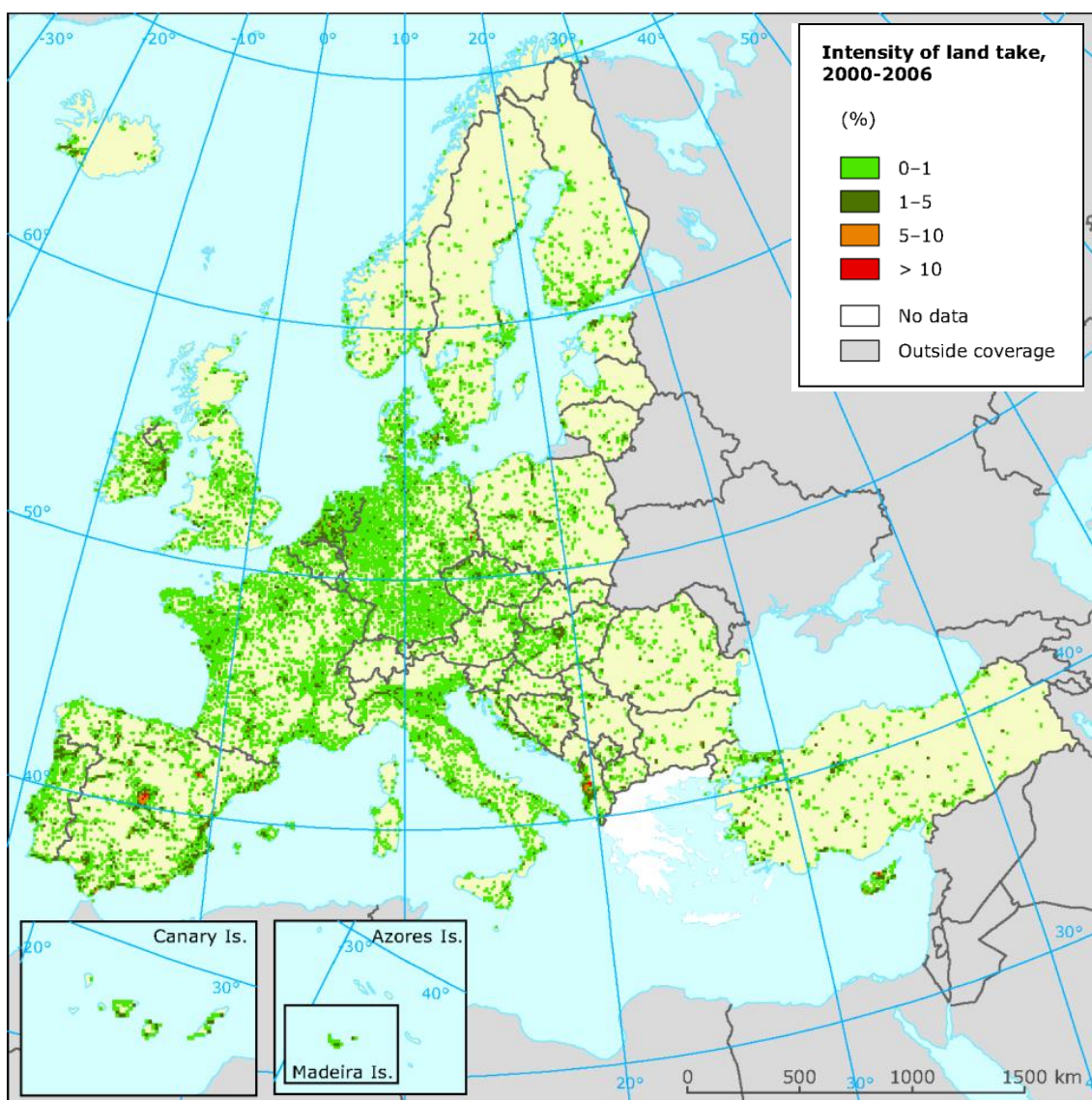


Figura 2-8. Distribución e intensidad de ocupación del suelo de desarrollos urbanos y otras áreas artificiales en Europa. Muestra el porcentaje de cambio desde usos del suelo no artificiales a usos artificiales, observándose un gran punto rojo en la CM, correspondiendo con el valor más alto de intensidad que se ha producido a escala europea. Basado en los cambios entre los años 2000 y 2006 de CLC. Tamaño de píxel de 10 km. Fuente: Agencia Europea de Medioambiente².

La demanda de vivienda madrileña se ha caracterizado, frente a la de otras regiones del país, por haberse concentrado en vivienda primaria (Leal y Domínguez, 2009). A pesar de ello, se ha producido un descenso en la proporción de viviendas habitadas permanentemente para el conjunto de la comunidad, que han pasado de representar el 83,6% en 1970 hasta un 75,9% en 2001 (García Palomares y Gutiérrez Puebla, 2007). Así, el parque desocupado se ha incrementado notablemente, siendo difícil de evaluar sus dimensiones precisas (Leal y Domínguez, 2009).

² <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/artificial-land-take-2000> (ultimo acceso: 15 julio 2013)

La intensificación del ritmo a que se expandía la mancha urbana, con la sustitución del modelo de ciudad compacta, pasando por un modelo de crecimiento urbano a saltos, que generó amplios espacios vacantes que posteriormente fueron rellenándose y, por último, con la aparición de una ciudad-región difusa, ha desbordado los límites administrativos de la Comunidad Autónoma por las comarcas limítrofes de las provincias de Guadalajara y Toledo (López de Lucio, 2003; Zárate, 2003a; Gago García et al., 2004; Méndez, 2013). La expansión de Madrid explica así el incremento de urbanizaciones en estas provincias, pero la demanda de Madrid también se ha extendido hacia el norte, a las provincias de Ávila, Segovia y Soria, y hacia el sur y este, en Ciudad Real y Cuenca, favorecidos por el tren de alta velocidad (Méndez, 2013).

Todos estos procesos han supuesto la artificialización de la superficie natural o agraria, ocupada, ahora, por áreas residenciales, empresariales e infraestructuras. La ampliación del espacio urbanizado primero se canalizó a lo largo de las vías radiales de alta capacidad que parten de la capital y luego se generalizó y se multiplicó a lo largo de urbanizaciones discontinuas y todo tipo de espacios de actividad (polígonos y parques industriales, empresariales, logísticos, comerciales, de ocio...) (Méndez, 2013).

La ocupación urbana de suelos ha mostrado especial preferencia hacia los suelos de regadío y los cultivos herbáceos de secano, que suelen corresponder con los de mejor calidad agronómica. Más de la mitad del suelo consumido por usos urbanos en este periodo recayó sobre este tipo de cultivos, que apenas ocupaba un tercio del suelo disponible. En menor medida, se realizó también a expensas de pastizales y matorrales (Angnes, 2005). El suelo forestal tiene menor preferencia debido a que la mayor parte de éste, además de estar más sujeto a protección, se encuentra en zonas de sierra con escasa población y actividad económica y, por ende, con escasa demanda de urbanización salvo en lo concerniente a la segunda residencia (Naredo y García Zaldivar, 2008).

Como se ha visto, el sistema de transportes es el elemento estructurador clave en la configuración y articulación del espacio (Gago García et al., 2004) y, es por ello, que la evolución de las infraestructuras de transporte ha sido la verdadera base material de la transformación de la CM en estas décadas pasadas (Serrano Cambronero, 2002; López de Lucio, 2003). La ocupación de suelo por autopistas nuevas y por la ampliación aeroportuaria explica el 80% de la formación de suelo por equipamientos entre 1980 y 2005 (Naredo y García Zaldivar, 2008). La importancia estratégica que adquieren las conexiones de transporte y comunicación en el funcionamiento de la ciudad abren numerosas posibilidades de relación y de integración territorial (Gago García et al., 2004; Serrano Cambronero et al., 2006).

En cuanto a su desarrollo, en torno al año 1975, Madrid mostraba ya una clara estructura radioconcéntrica, determinada por las carreteras nacionales que convergían en la capital española y reforzada por una primera autopista orbital, la M-30. La dependencia funcional del espacio suburbano, con respecto a la ciudad central, era especialmente fuerte en el caso de los desplazamientos laborales, lo que demuestra el carácter de ciudad-dormitorio de muchos de los núcleos de población que rodeaban a Madrid (Estébanez, 1990).

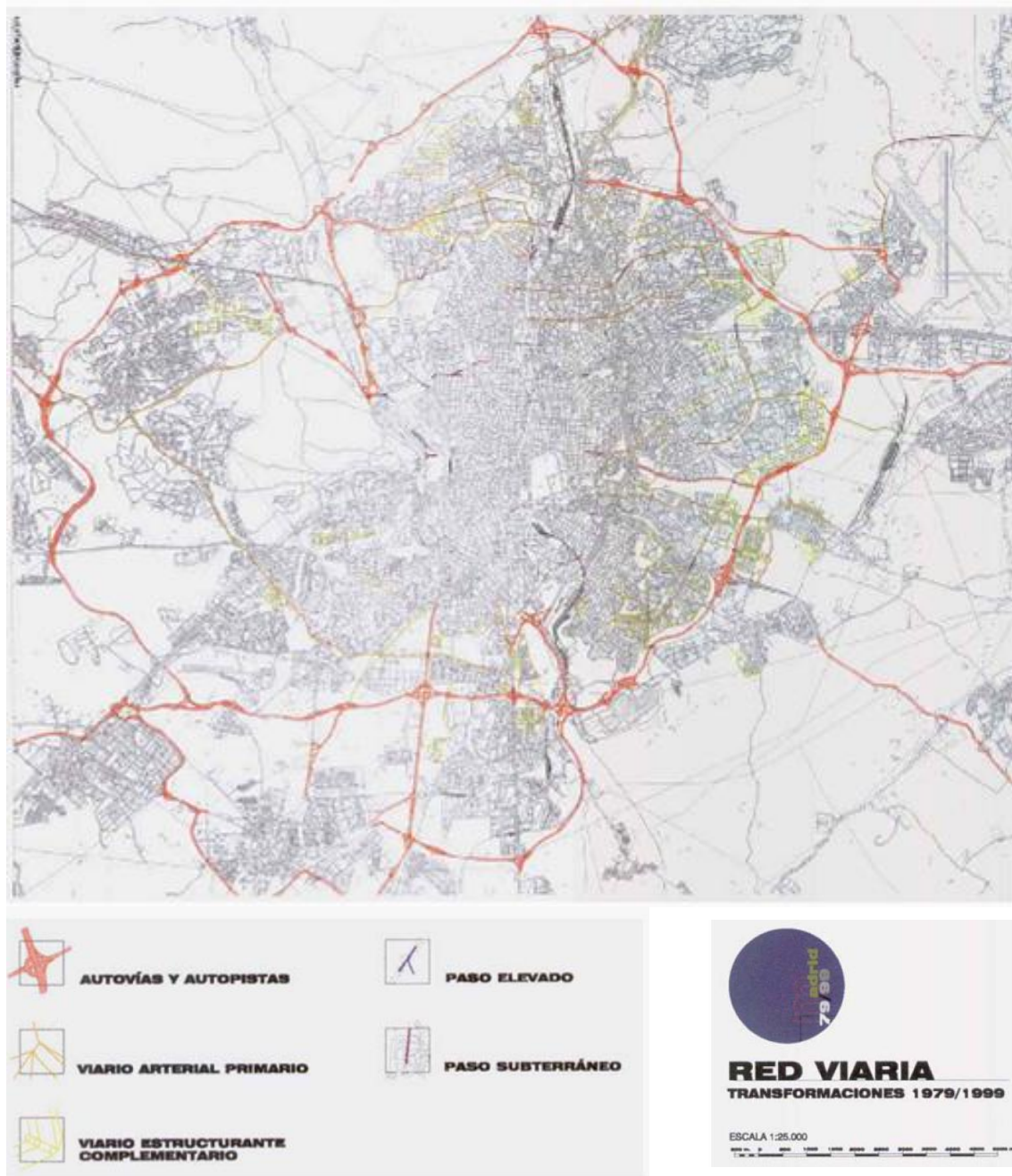


Figura 2-9. Transformaciones de la red viaria arterial entre 1979 y 1999 (cierre noroeste de la M-30 y ejecución de la M-40). Aparecen además un número importante de vías interdistritales. Fuente: López de Lucio (2000).

En 1992, Madrid ya tenía una segunda autopista orbital, la M-40, el Aeropuerto de Barajas seguía creciendo y aparecía el primer trazado de ferrocarril de alta velocidad Madrid-Sevilla (Fernández Güell, 2008). El sistema de desplazamientos seguía siendo predominantemente radial, con un protagonismo de los flujos centrípetos, al constituir la almendra central el principal foco de atracción (Comunidad de Madrid, 1990).

Muchas han sido las obras acometidas desde el año 1990. Entre 1991 y 1996 se amplió la carretera de la Coruña y se implantó el carril bus-VAO hasta Las Rozas, se cerró completamente la M-40, se terminaron los tramos Culebro y Pinar de la M-50 y los tramos pendientes de la M-402 y M-506, se duplicó la N-II al sur del polígono industrial de Las Mercedes, se construyó la circunvalación sur de Arganda, se llevó a cabo el desdoblamiento del primer tramo de la M-511, así como la prolongación a la M-503 y el tramo M-502, la conexión de Alcobendas sur con la M-607, la terminación de la A-10, el acceso sur a Colmenar y circunvalación sur de Alcalá. Entre 1996 y 2003, se ejecutó la M-45, se amplió el trazado de la M-50, se construyeron las autovías radiales de peaje R-2, R-3, R-4, R-5, y se ha abierto al tráfico el nuevo trazado de la M-100 (López de Lucio, 2003).

En 2008, Madrid cuenta ya con dos anillos semiorbitales (M-45 y M-50), con nuevas autopistas radiales (R-2, R-3, R-4 y R-5), nuevos trazados de ferrocarril de alta velocidad (Madrid-Barcelona, Madrid-Toledo y Madrid-Valladolid) y con la gran ampliación del aeropuerto de Barajas, que pasa de tener una superficie de 1.068 ha., a comienzos de los 80, a 1.925 ha. en 2008 (Chicharro y Córdoba, 1983; Fernández Güell, 2008). Este tipo de desarrollos refuerza la posición centralista de Madrid respecto al resto del Estado.

Tal y como muestra la tabla 2-4, en el desarrollo de la red de carreteras ha tenido un predominio relevante las autopistas de peaje.

Indicador	Fecha inicial	Fecha final	Incremento %
Reparto modal de los viajes. 1988-2004			
• Viajes en transporte público	2.578.117	4.932.208	91,3
• Viajes en transporte privado	2.270.184	5.068.109	123,2
Evolución de la red de carreteras, vías de gran capacidad, en km. 1991-2005			
• Autopista peaje	14	135	846,3
• Autovías y autopistas libres	424	614	44,8
• Vías de doble calzada	162	160	-1,2
Parque de vehículos. 1991-2005			
• Camiones	272.464	576.061	111,4
• Automóviles	1.912.937	3.100.553	62,1

Tabla 2-4. Indicadores de movilidad y transporte. Fuente: De Santiago (2008b).

El gran despliegue extraordinario de vías de alta capacidad en la CM ha situado el ratio de kilómetro por habitante muy por delante de las principales ciudades europeas (de Santiago, 2008b) y ha supuesto un incremento de los viajes en transporte privado de más del 123%.

Varios son los planes que hacen posible este gran desarrollo, como son el Plan de Carreteras de la Comunidad de Madrid para el periodo 1986-1993, que pretende cerrar definitivamente la M-30, construir un nuevo cinturón de circunvalación (M-40) y comenzar los trabajos previos para la M-50, así como mejorar y ampliar las vías radiales que ya tenían rango de autopistas (Valenzuela, 1990), cuyos objetivos se trasladarán a los sucesivos planes; o el Plan para el Transporte en las Grandes Ciudades para el periodo 1990-1993 que propone, en el caso de Madrid, el cierre de la M-30 por el NW, la construcción de la M-40 y el inicio de los trabajos previos de la M-50 (Valenzuela, 2010).

En cuanto a los planes enfocados en el transporte público, el Plan de Cercanías de Madrid para el periodo 1990-1993 supone la prolongación de la red de la zona norte (Canto Blanco-Tres Cantos y Tres Cantos-Alcobendas-San Sebastián de los Reyes) y del sur (Parla y Fuenlabrada) (Valenzuela, 1990). Hasta 1999 se crearon 110 km de la red de metro, que creció en un 6% de media anual, teniendo hoy el doble de tamaño que en 1984, y también se construyeron los intercambiadores de Atocha, Príncipe Pío y Moncloa (López de Lucio, 2000; OECD, 2007).

La ampliación del aeropuerto de Barajas ha supuesto que, hoy en día, sea el quinto aeropuerto en tráfico de pasajeros y el noveno de mercancías en Europa. Ha conllevado a la mejora de la accesibilidad tanto regional como internacional, y supone el mayor empleador regional.

El gran crecimiento económico que ha experimentado la CM y el consecuente desarrollo urbano y de infraestructuras que se ha venido desarrollando en este último periodo ha tenido sus impactos negativos, especialmente en la esfera medioambiental y de sostenibilidad. Se ha sobredimensionado el suelo urbanizable y el parque de viviendas secundarias y/o desocupadas, ocasionando una superdestrucción de los asentamientos, los ecosistemas y los paisajes precedentes. Esto ha ocasionado un grave deterioro ecológico, un angustioso endeudamiento económico y un severo empobrecimiento social (Naredo, 2009).

La expansión urbana no ha venido acompañada de un elevado crecimiento demográfico. Se trata de un crecimiento superficial, desproporcionado en relación a la evolución del tamaño de la población, que se explica no sólo por factores sociodemográficos como la reducción del tamaño medio de los hogares, sino también y, en gran medida, por las características de los nuevos espacios residenciales.

El incremento de la producción de viviendas unifamiliares y de los edificios residenciales con bajo número de plantas, la dispersión y la fragmentación, dan lugar a un paisaje residencial en el que las bajas densidades, netas y brutas, son dominantes (García Palomares y Gutiérrez Puebla, 2007).

El modelo de urbanización difusa ha sido calificado como de insostenible tanto desde el punto de vista ambiental, como social y económico. Se han denunciado los elevados costes ambientales que produce: elevado consumo energético, aumento de la contaminación atmosférica, consumo creciente de espacio, derroche de los recursos hídricos; y se ha aludido también al alto coste económico de las infraestructuras necesarias para dar servicio a ese territorio disperso: extensas redes de carreteras, distribución de agua, saneamiento, telecomunicaciones (García Palomares y Gutiérrez Puebla, 2007).

Se ha producido un incremento de la contaminación que nos remite directamente al descomunal crecimiento del transporte, tanto de mercancías como de personas.

El indicador sintético de la huella ecológica, medida por la ocupación del suelo ligada directa o indirectamente al proceso de urbanización, ha pasado de 5,58 a 6,75 entre 1995 y 2005 (tabla 2-5), lo que pone de manifiesto que el impacto indirecto del crecimiento económico y de la urbanización en la metrópoli desbordan, claramente, los límites administrativos de la Comunidad y afectan a otros territorios servidores (de Santiago, 2008b; Naredo y García Zaldivar, 2008).

Indicador	Fecha inicial	Fecha final	% incremento
Consumo de Agua, en miles de m ³ . 1996-2004	84.461	124.020	46,8
• Sectores económicos	276.553	362.438	31,1
• Hogares			
Consumo de Energía, en MWh. 1995-2006.			
• Usos domésticos	5.486.188	8.795.633	60,3
• Industria	3.350.357	4.015.546	19,9
• Servicios	6.149.416	10.853.669	76,5
• Resto de sectores	1.547.850	1.644.282	6,2
Emisión de dióxido de carbono, en toneladas. 1991-2004.	14.469.000	23.672.000	63,6
Huella ecológica. 1995-2005	5,58	6,75	21,0

Tabla 2-5. Indicadores de consumo de recursos, de emisiones y huella ecológica.
Fuente: De Santiago (2008b).

En cuanto a las cifras de consumo, tal y como muestra la tabla 2-5, la energía eléctrica facturada casi se ha duplicado entre 1991 y 2006 (+89,7%); el sector doméstico se mantiene en torno a 1/3 del consumo total, aunque se ha incrementado notablemente en términos relativos (+60,3%); el sector servicios

pasó de suponer el 37,2% al 42,9% mientras que la industria pasó de consumir el 20,3% de la electricidad total al 15,9%. El consumo de agua también creció, con incrementos de consumo en los hogares del 31% y de los sectores económicos del 46,8% (de Santiago, 2008b).

Uno de los impactos positivos que se puede considerar ha sido la mayor atracción, por parte de la población de las ciudades, por el medio rural, del que valora, en principio, sus mejores cualidades medioambientales, pero también la pervivencia de peculiares tradiciones y de unas determinadas formas de vida. Se está dando una progresiva revalorización recreativa del medio rural (MAPA, 2003) como manifiesta el sector turístico, nutrido mayoritariamente de visitantes de la propia CM.

2.4.4 La crisis económica de 2007

El informe de la OECD publicado en 2007 (OECD, 2007) detalla que el principal reto de la CM es extender el crecimiento económico registrado desde mediados de los 90 en un patrón a largo plazo. Sin embargo, es a partir de ese mismo año, cuando se produce un agotamiento del modelo de crecimiento español, basado en la revalorización de los activos inmobiliarios (Rodríguez y López, 2011) que, a día de hoy, no vislumbra la salida.

En una primera fase, la crisis financiera supuso la restricción del crédito, cerró la fuente de alimentación del desarrollo inmobiliario y se tradujo en pérdidas masivas de empleo en la construcción y las actividades industriales o de servicios directamente relacionadas. En una segunda fase, el impacto se difundió al resto del tejido empresarial, con especial gravedad en el caso de las PYMEs y los autónomos, para trasladarse finalmente al consumo interno (Méndez, 2013).

El FMI hacía público en 2010, un diagnóstico muy crítico sobre la situación de España: un mercado laboral con dificultades, depreciación inmobiliaria, déficit fiscal elevado, endeudamiento privado desorbitado, déficit exterior, crecimiento anémico de la productividad, débil competitividad y un sector financiero con puntos oscuros. A fecha de 16 de abril de 2013, el FMI volvió a hacer un diagnóstico actualizado de la situación económica española, augurando una caída del PIB del 1,6% y una tasa de paro del 27%. La Comisión Europea pronostica para España que se necesitarán entre cinco y siete años para ajustar el exceso de deuda privada (Romero, 2010).

El patrón de crecimiento, tanto en el territorio nacional como en la CM, ha sido desequilibrado, al concentrar gran parte del esfuerzo inversor en activos inmobiliarios, tanto residenciales como no residenciales (Romero, 2010).

En los últimos años, en todo el territorio nacional, se había experimentado una excesiva dependencia, de la actividad económica y del empleo, del sector de la construcción residencial. La construcción llegó a representar, en 2007, el 9,3% del PIB (el doble que en EE.UU) y en algunas CC.AA en torno al 11% del PIB regional. Este dato llama la atención si se compara con el dato del año 2010, cuando la construcción contribuyó con un -1,6% (Romero, 2010; Romero et al., 2012).

El crecimiento económico de la CM en los últimos años fue de más del doble de la media de la zona euro. Sin embargo, las tasas de crecimiento del PIB regional a precios de mercado, que fueron aún del 6,8% en 2007 y 3,5% en 2008, han alcanzado valores negativos en 2009 (-2,7%) y se han mantenido en niveles próximos al estancamiento en los dos años siguientes (0,1% y 0,9%, respetivamente), según datos de la Contabilidad Regional de España. El PIB por habitante en Madrid se ha reducido de 30.989 euros de promedio en ese año hasta los 29.731 del año 2011, lo que supone una caída superior (-4,1%) a la padecida en el conjunto de España (de 23.858 a 23.271 euros, un -2,5%) (Méndez, 2013).

La crisis económica se ha hecho notar tanto en el empleo como en el crecimiento poblacional. Mientras que entre los años 2000 y el 2006 se crearon más de 760.000 puestos de trabajo (muchos de ellos en el sector de la construcción) y el desempleo cayó de 11,6% al 6,5%, entre el cuarto trimestre de 2006 y el de 2011, se ha producido una destrucción de empleos casi constante. En cuanto al crecimiento poblacional, éste se ha visto progresivamente atenuado hasta casi detenerse; los 6,1 millones de habitantes empadronados a 1 de enero de 2007 alcanzan los 6,5 millones cuatro años después, con un aumento equivalente al 6,7%, pero las tasas interanuales se han ido reduciendo hasta limitarse a apenas un 0,5% en el último año. La evolución actual hacia un balance migratorio negativo, tanto por el retorno de algunos inmigrantes a sus países de origen como por la emigración de jóvenes españoles, puede invertir la tendencia en los próximos años, con el consiguiente envejecimiento de la pirámide demográfica (OECD, 2007; Méndez, 2013).

El intenso crecimiento urbano que se ha producido es el resultado de proyectos de grandes dimensiones, no previstos en planes municipales. Miles de viviendas y cientos de hectáreas se han desarrollado en un único proyecto, en una única fase o por un solo promotor. Este tipo de acciones implican transformaciones radicales en el territorio, incrementando sustancialmente las áreas construidas y el número de habitantes (Burriel, 2011).

Como ejemplo del gran desarrollo urbanístico, entre diciembre de 1995 y diciembre de 2007, se aprobaron unos 6,5 millones de nuevas viviendas en España; estas aprobaciones suponen la construcción de más de 600.000

viviendas al año, teniendo su punto álgido en el año 2006, con la construcción de 865.000 viviendas, cifra que contrasta con las 200.000 viviendas iniciadas en 2003 (Romero, 2012; Rodríguez y López, 2011); es un número equivalente a las que se iniciaron en Francia, Italia y Alemania conjuntamente (Burriel, 2011) y superando el total construido en Alemania, Francia e Inglaterra juntos (OSE, 2006). En concreto, en la CM, el parque residencial ha pasado de un volumen de 671.000 viviendas en el año 1960 hasta 2,8 millones en 2007 (Leal y Domínguez, 2009).

El proceso de urbanización dispersa que se ha producido, además del consumo masivo de suelo y la devastación de paisajes, ha dejado con la recesión una extensa muestra de grandes desarrollos residenciales sin habitar, inacabados y sin equipamientos. En el año 2010, en España, había entre 800.000 y 1,2 millones de viviendas nuevas sin vender en el mercado. Además, habría que añadir la cantidad indeterminada de suelo en manos de bancos, cajas y particulares, adquirido, en su día, para usos residenciales y que ahora tiene un destino incierto (Romero, 2010).

En la CM, se ha producido una hipotrofia inmobiliaria frente al debilitamiento de su base industrial y la limitada integración del sistema regional de innovación, la excesiva influencia de una inversión exterior que se contrajo con la crisis o el fuerte peso relativo de actividades de servicios al consumo con baja productividad, lo que acentuó su fragilidad ante el impacto recibido. También lo hicieron la elevada precariedad laboral y su negativo efecto sobre la acumulación de capital humano cualificado y estable, junto, como se ha visto anteriormente, a la insostenibilidad ambiental de un modelo urbanizador intensivo en el consumo de suelo y de otros recursos naturales (Méndez, 2013).

El hundimiento del mercado inmobiliario en la región ha sido claro, tal y como muestra la tabla 2-6. Mientras en 2006 el volumen de viviendas terminadas alcanzó las 61.620, apenas fueron 7.320 en 2011, aunque fue aún mayor la disminución de las viviendas iniciadas (de 51.588 a 5.252, un -89,8%), debido el excedente acumulado y a la escasa demanda (Méndez, 2013).

La llamada burbuja inmobiliaria y sus derivados constructivos han llegado a absorber cerca del 70% del crédito al sector privado (Naredo, 2009). Esto está relacionado con el aumento de precios de la vivienda experimentado en estos años; el alza de precios fue superior, en términos proporcionales, al de la mayor parte de las capitales europeas, exceptuando Dublín (Romero, 2010; Romero et al., 2012). La construcción residencial en este periodo se caracteriza además por una escasez de vivienda social y de vivienda en alquiler que, junto con el aumento de los precios, ha dificultado todavía más el acceso de los madrileños a la vivienda (Leal y Domínguez, 2009).

Años	Viviendas iniciadas en la región	Viviendas terminadas en la región
2006	51.588	61.620
2007	30.540	40.008
2008	13.224	32.556
2009	4.680	25.080
2010	4.716	13.332
2011	5.252	7.320

Tabla 2-6. Evolución del mercado inmobiliario en Madrid, 2006-2011. Fuente: Méndez (2013).

De todo ello puede deducirse que la acción política estuvo alineada con los intereses inmobiliarios y financieros, sin aprobar unas normas básicas de OT (Méndez, 2013).

2.5 CONCLUSIONES

En la planificación del territorio de la CM confluyen el Estado, el Gobierno Regional y los 179 municipios, todos ellos con capacidad de acciones territoriales y urbanas, aunque con distinto rango competencial. Asimismo, son de reseñar las acciones llevadas a cabo por la UE, las cuales influyen también en la toma de decisiones como, por ejemplo, la Estrategia Territorial Europea (ETE) que propone, entre otras cosas, la adopción de un modelo territorial que debe servir a los objetivos de la sostenibilidad ambiental y la cohesión social, un modelo de planificación estratégica y la participación de los distintos niveles de gobierno y agentes sociales; o la Directiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de evaluación ambiental estratégica para la elaboración de planes y programas medioambientales. A todo esto habría que añadir el gran número de actores privados que también intervienen directa o indirectamente en las decisiones territoriales.

Romero (2010) comenta que, nunca en nuestra historia, se ha tenido mayor cantidad de leyes, normas y planes, hasta el punto de que resulta casi imposible hacer un seguimiento exhaustivo de todas las iniciativas legislativas e instrumentos de OT, y sin embargo, el nivel de descoordinación y desgobierno territorial, de agresiones al territorio y de innumerables casos de corrupción asociados al urbanismo tienen difícil explicación con estas normas. Valenzuela (2010, p. 96) apunta que *“la CM, a pesar de haber sido la segunda tras Cataluña en crear un marco legal para la planificación de su territorio, ha fracasado en la tarea posterior de dotarse de instrumentos de ordenación a nivel regional y subregional”*.

La política de OT en la CM y en el Municipio ha seguido estando enfocada en el urbanismo. En la redacción de los planes hay un intento por defender la integración de los asentamientos rurales y de los espacios naturales en el

territorio, así como de relanzar las actividades agrícolas, ganaderas e industriales, con el objeto de crear un equilibrio regional social, económico y ambiental. Sin embargo, muy pocas acciones se han llevado a cabo en este aspecto; de hecho, el sector primario, que como actividad es la más extensiva en el consumo de suelo, se ha ignorado habitualmente en el planeamiento municipal.

Méndez (2013) expone que, en los últimos años, el gobierno regional ha evitado aprobar unas Directrices de OT de ámbito metropolitano que pudieran suponer exigencias de mayor coordinación a los gobiernos locales, así como controles o trabas a una urbanización a la que ha apoyado también, de forma indirecta, con fuertes inversiones en infraestructuras, complementarias de las ejecutadas por el gobierno central (ampliación de la red de metro y metro ligero, desdoblamiento de carreteras en autovías, concesión de autopistas radiales de peaje...). También aprobó, de forma general, las masivas recalificaciones de suelo urbanizable propuestas por numerosos ayuntamientos, que reforzaban así su financiación y, de paso, favorecieron los intereses de propietarios del suelo, promotores o constructores, dando origen a un elevado número de denuncias por corrupción.

Nunca ha existido un interés mayor por el medio ambiente y nunca, hasta ahora, ha sido tan vulnerable, con la aprobación de una ley con la cual se legaliza la posibilidad de urbanizar la totalidad de la CM, salvo los espacios protegidos. Asimismo, otorga preferencia a urbanizar siguiendo el modelo americano de ciudad dispersa, mediante proyectos urbanísticos carentes de personalidad y sin tener en cuenta el contexto local ni la sostenibilidad.

La reciente Ley 5/2012, de 20 de diciembre, de viviendas rurales sostenibles, de la Comunidad de Madrid, permite la construcción en suelo rústico no sujeto a protección sectorial de una vivienda unifamiliar de hasta 900 m. en terrenos de más de 6 ha.; dicha ley continúa demostrando lo anteriormente citado, promoviendo, además, la edificación residencial de tipo dispersa y, por tanto, favoreciendo la fragmentación del territorio.

El desarrollo de la CM ha estado, por tanto, ligado al crecimiento urbano y esto tiene un riesgo, ya que como apunta David Harvey (2001), la vivienda implica más que un mero consumo directo de mercancías; para empezar, toda la estructura de consumo está relacionada con la forma que adopta la provisión de vivienda.

El ciclo inmobiliario experimentado en las últimas décadas ha sido una excepción en cuanto a su gran intensidad y duración. Ha sido el resultado de un modelo de desarrollo económico basado en la especulación de la tierra y la ilimitada construcción (Burriel, 2011), produciéndose un crecimiento descontrolado, con graves consecuencias ecológicas, económicas y sociales.

El consumo del suelo ha sido el efecto más evidente de dicha explosión urbana.

Tal y como comenta Romero (2010, p.32), el territorio no se ha considerado como un activo digno de ser preservado; contrariamente, *“se apostó por un modelo consistente en urbanizar sin hacer ciudad, sembrando literalmente el territorio de operaciones urbanísticas definidas por la extensión de una banal simetría, de la efímera vulgaridad, de patrones constructivos clonados e intercambiables”*.

Asimismo, la región se ha visto envuelta en una masiva expansión de la red de infraestructuras. Ésta aparece como la conductora de los cambios de usos del suelo, con una clara relación entre el rápido crecimiento de las infraestructuras y el cambio de uso del suelo de los espacios adyacentes a las carreteras.

La inversión en obras e infraestructuras de transporte ha sido un objetivo prioritario de los sucesivos gobiernos durante los años de crecimiento, hasta el punto de que esta rúbrica del gasto público es mayor en España que en cualquier otro de los grandes países de la UE; las redes españolas de autovías y de trenes de alta velocidad eran, ya en el 2011, las de mayor extensión de toda Europa (Rodríguez y López, 2011).

Entre los problemas que ha conllevado este modelo territorial, además de los citados anteriormente, López de Lucio (2003) señala: el relativo deterioro y vaciado de partes significativas de los tejidos urbanos “antiguos”; la creciente especialización y segregación física, social y económica de las actividades y grupos sociales menos favorecidos; el rápido ascenso de la movilidad mecanizada privada y de sus adversas consecuencias medioambientales; los crecientes costes de puesta al día y mantenimiento de los sistemas infraestructurales y de los servicios públicos de todo tipo; y la crisis del comercio de proximidad y el vaciado de parte del significado de los espacios públicos tradicionales.

La continua reducción de los tipos de interés y el mantenimiento de estos intereses a un nivel muy bajo, sin precedentes históricos (Leal y Domínguez, 2009; Burriel, 2011; Rodríguez y López, 2011), sumado a una gran facilidad para obtener préstamos hipotecarios a bajo interés y a la existencia de una legislación favorable para la urbanización masiva y dispersa, junto a una legislación en materia fiscal que incentivaba la adquisición de vivienda (OECD, 2007; Romero, 2010; Romero et al., 2012) conllevó, como se ha visto, a un ingente aumento del precio de las viviendas, tanto nuevas como de segunda mano, que se hizo a costa de un elevado endeudamiento (la vivienda representa casi el 40% de los gastos anuales del hogar). El crecimiento de estos niveles de endeudamiento ha alcanzado umbrales nunca antes vistos en la economía española (Rodríguez y López, 2011).

Con todo este crecimiento registrado, la CM se ha convertido en una ciudad-región, la cual se encuentra en una situación de tránsito hacia modelos mixtos y donde es posible encontrar pautas de policentrismo (Gallo et al., 2010). Es una ciudad-región difusa, que ha desbordado los límites administrativos de la Comunidad Autónoma.

Tal y como comenta la OECD (OECD, 2007), la planificación espacial y de usos del suelo debe adaptarse a la rápida y reciente urbanización y crecimiento que se ha producido. La región se enfrenta, como se ha visto, a un incremento en el uso del transporte privado y a los derivados costes de congestión, producidos por la rápida urbanización y una rápida expansión urbana de forma dispersa. La ciudad de Madrid puede mejorar la gobernanza urbana mediante la participación de la sociedad civil en la formulación de políticas urbanas.

CAPÍTULO 3. ANTECEDENTES Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

3.1 Introducción

3.2 El desarrollo de los análisis y modelos de cambios de usos y cubiertas del suelo

3.3 El desarrollo de modelos de simulación de usos y cubiertas del suelo

3.4 Sobre los errores en la cartografía y su implicación en los análisis de usos del suelo

3.5 Conclusiones

3.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este capítulo es mostrar el estado de la cuestión en cuanto a los modelos de cambios de usos del suelo y los modelos de simulaciones a futuro, definiendo los diferentes conceptos de los que se hace uso, los avances que se han realizado en esta materia y poniendo especial hincapié en la importancia que este tipo de estudios tienen para la planificación y la sostenibilidad ambiental y territorial. En relación a esto, se presenta aquí una recopilación de los trabajos más relevantes que han sido realizados sobre esta materia.

Un primer apartado muestra una exhaustiva recopilación de los estudios de cambios de usos del suelo, a diferentes escalas espaciales y temporales, con el fin de conocer diferentes metodologías de análisis y diferentes modelos que han sido usados en relación con dichos cambios y con los factores explicativos que los conducen.

Posteriormente, se realiza una recopilación de los modelos de cambios de usos del suelo que han sido contruidos con el fin de explicar la relación entre dichos cambios y los factores explicativos que los influncian o los inducen. Estos métodos tienen una estrecha relación con los modelos de simulación, ya que para la realización de escenarios futuros es necesario vincular los procesos que se han sucedido en el pasado y las variables que han ocasionado dichos cambios.

En un segundo apartado, se analiza un cuantioso número de estudios previos, en relación con los diferentes modelos de simulación de usos del suelo a futuro que se han llevado a cabo, especificando la metodología usada, los datos de entrada y de salida, las escalas espaciales y temporales utilizadas, etc.

Para terminar, se muestra una evaluación sobre la influencia de la presencia de de errores en la cartografía de entrada de los modelos. Conocer la precisión de los datos con los que se trabaja y los errores que éstos contienen es fundamental a la hora de llevar a cabo este tipo de trabajos, ya que de ellos dependerá el resultado y rigurosidad de nuestro estudio. Se muestra aquí una recopilación de métodos que pueden ser utilizados para poder analizar

nuestros datos en busca de errores y poder corregirlos, en caso de ser necesario.

La ciencia del sistema de la tierra o *land system science* se refiere al “*campo interdisciplinario que busca comprender las dinámicas de las cubiertas y los usos del suelo como un sistema humano y medioambiental conjunto, con el objetivo de abordar teoría, conceptos, modelos y aplicaciones relevantes a problemas medioambientales y sociales, incluyendo la intersección de ambos*” (Rounsevell et al., 2012, citando a Turner et al., 2007)

La cobertura de la tierra puede ser definida como el estado biofísico de la superficie terrestre mientras que el uso del suelo es la forma en la que los atributos biofísicos de la tierra son manipulados u ordenados por la población (Meyer y Turner, 1996; Braulies y Szejwach, 1998; Briassoulis, 2000; Cihlar y Jansen, 2001; Gulinck et al., 2001). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) define la cubierta de la tierra como la cobertura física de ésta, incluyendo la vegetación y las construcciones humanas que cubren dicha superficie. Para la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 2006) la cubierta del suelo no es un simple atributo o cualidad de la tierra, es un conjunto de características naturales y antropogénicas que son, en gran medida, resultado de su uso.

Geist et al. (2006) definen los usos del suelo como una función de presiones, oportunidades, políticas, vulnerabilidad y organización social. Esto es:

uso del suelo =

f (presiones, oportunidades, políticas, vulnerabilidad y organización social)

donde:

presiones = f (número de usuarios de los recursos, disponibilidad de mano de obra, cantidad de recursos y sensibilidad de los recursos);

oportunidades = f (precios del mercado, costes de producción, costes de transporte y tecnología);

políticas = f (subsídios, impuestos, derechos de propiedad, infraestructuras y gobernanza);

vulnerabilidad = f (exposición a perturbaciones externas, sensibilidad y capacidad de control); y

organización social = f (acceso a los recursos, distribución de rentas, tipología de vivienda e interacciones urbanas y rurales).

El amplio y rápido desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y de la teledetección ha favorecido el rápido incremento de los estudios de cambios de usos del suelo.

La teledetección ha permitido adquirir información precisa en diferentes momentos en el tiempo y prácticamente de la totalidad del globo terrestre, y a diferentes escalas espaciales; las imágenes satelitales nos proporcionan, así, información sobre patrones de cubiertas y usos del suelo de manera consistente y a diferentes resoluciones. Los SIG son un instrumento clave que han permitido la generación y el manejo de información geográfica y la realización de análisis espaciales diversos mediante un profuso número de herramientas; han sido ampliamente reconocidos como una herramienta capaz de proporcionar información confiable para la planificación y la toma de decisiones.

Existe, sin embargo, un límite temporal en cuanto a la disponibilidad de imágenes espaciales, ya que éstas están disponibles, de forma repetitiva y continua, a partir del año 1972, cuando la NASA lanzó Landsat 1; esto implica la dificultad de extender en el tiempo, hacia atrás, los estudios de seguimiento de usos o cubiertas del suelo utilizando este tipo de recursos. Para ello, es preciso combinar las imágenes de satélite con las fotografías aéreas y con la cartografía topográfica histórica, con objeto de estudiar, de forma ampliada en el tiempo, las dinámicas del cambio.

Actualmente se utiliza información derivada de múltiples satélites de observación de la Tierra (LANDSAT, SPOT, IKONOS, IRS...), pero Landsat y su resolución espacial de 30 metros, se ha convertido en el estándar en cuanto al monitoreo de los cambios de usos del suelo. Además, hoy en día, hay datos disponibles con un amplio rango en el espectro (multiespectrales e hiperespectrales), como los que provienen de sensores ópticos, infrarrojos, térmicos o de radar.

A esto hay que añadir, la proliferación de diferentes software libres así como la aún reciente adquisición, de manera gratuita, de imágenes satelitales, que ha facilitado la obtención y generación de información de forma rápida y prácticamente sin ningún coste económico.

La tabla 3-1 muestra una recopilación de estudios realizados, ordenada por orden cronológico, desde el más reciente al más antiguo, y alfabéticamente; en ella puede observarse que el satélite Landsat se ha convertido en el medio más utilizado para la generación de información temporal de usos o cubiertas del suelo, en especial TM y EMT+.

Fuente utilizada	Estudios recopilados
NOAA- AVHRR	Stellmes et al., 2013 Arnáez et al., 2008 Yue et al., 2007 Vicente-Serrano et al., 2003
SPOT	García-Frapolli et al., 2007 Loibl et al., 2007 Serrano Cambronero et al., 2006 Gago García et al., 2004 Parra et al., 1996
IRS	García-Frapolli et al., 2007 Ruescas, 2001
LANDSAT	Jokar et al., 2013 Sangermano et al., 2012 Schulz et al., 2010 Berberouglu y Akin, 2009 Fraser et al., 2009 Aguilera et al., 2008 Brannstrom et al., 2008 Jansen et al., 2008 Novillo et al., 2008 Serra et al., 2008 Walsh et al., 2008 Baskent y Kadiogullari, 2007 Ding et al., 2007 Gómez Jiménez et al., 2007 Loibl et al., 2007 Overmars et al., 2007 Santana y Salas, 2007 Vafeidis et al., 2007 Cakir et al., 2006 Gómez-Mendoza et al., 2006 McDonald y Urban, 2006 De Barros et al., 2005 Martínez Rodrigo et al., 2004 Romero-Calcerrada y Perry, 2004 Verburg et al., 2004b Briceño, 2003 Chen, 2002 Brown et al., 2002 Li y Yeh, 2002 Ruescas, 2001 Logsdon et al., 1996 Green et al., 1994 Esser, 1989
IKONOS	Henríquez et al., 2006
QUICKBIRD	Mallinis et al., 2011 Vafeidis et al., 2007
Fotografías aéreas u ortofotomapas	Mallinis et al., 2011 Conway, 2009 Aguilera et al., 2008 Arnáez et al., 2008

Fuente utilizada	Estudios recopilados
	Rutherford et al., 2008 Castelán et al., 2007 Dupuy et al., 2007 Lesschen et al., 2007 Otto et al., 2007 Peña et al., 2007 Henríquez et al., 2006 Peña et al., 2005 Pérez Campaña et al., 2004 Vicente-Serrano et al., 2003 Cousins, 2001 Ruescas, 2001 Lo y Shipman, 1990 Bell, 1974
CORINE Land Cover	Pascual et al., 2011 Plata Rocha, 2010 Rodríguez Verdú, 2010 Barrios et al., 2008 Prieto et al., 2008 Falcucci et al., 2007 Serrano Cambronero et al., 2006 Gago García et al., 2004
Mapas catastrales o censos	Cousins, 2001 Kok et al., 2001
Cartografía elaborada por otros organismos	Aitkenhead y Aalders, 2009 Arnáez et al., 2008 Falcucci et al., 2007 Otto et al., 2007 Gómez-Mendoza et al., 2006 Verbunt et al., 2005 Verburg et al., 2004a Cardille y Foley, 2003 Paegelow et al., 2003 Paegelow et al., 2002 Hazen y Berry, 1997 Esser, 1989

Tabla 3-1. Recopilación, a modo de ejemplo, de estudios analizados y las fuentes de entrada de los modelos que utilizan.

Un análisis exploratorio previo de los datos con los que se va a trabajar es fundamental para valorar la fiabilidad y precisión con la que se cuenta, especialmente si los datos proceden de diferentes fuentes y se han desarrollado bajo diferente metodología y a diferentes resoluciones espaciales. La detección previa de posibles errores en la cartografía permitirá valorar los resultados que se obtienen y si tienen coherencia, evitando, así, obtener datos de cambios de usos del suelo falsos o inconsistentes. En este sentido, se incluye en este trabajo una revisión y un apartado referido a los errores en los datos. En la cartografía con la que aquí se trabaja se detectó la presencia de

estos errores, que fueron sometidos posteriormente a un laborioso proceso de corrección, por lo que se ha querido hacer hincapié en ese tema.

Los usos del suelo pueden alterar la cubierta del suelo de tres maneras diferentes: a) mediante la conversión de la cubierta del suelo o su cambio a un estado cualitativo diferente; b) modificándola o cambiando cuantitativamente su condición sin que se llegue a dar una conversión; y c) manteniéndola, en contra de los agentes naturales del cambio (Meyer y Turner, 1996; Braulies y Szejwach, 1998; Briassoulis, 2000). Los cambios en las cubiertas del suelo no tienen por qué implicar siempre cambios en el uso (Green et al., 1994).

El cambio de uso del suelo está causado por múltiples factores que interactúan entre sí. El conjunto de las fuerzas que provocan dichos cambios varía en el tiempo y en el espacio, dependiendo de las condiciones específicas humanas y ambientales que puedan darse. La globalización, por ejemplo, puede provocar una amplificación o una atenuación del efecto de las fuerzas que impulsan el cambio sobre los usos del suelo (Lambin y Geist, 2006). La identificación de estos factores promotores del cambio es uno de los prerequisites para desarrollar un modelo de cambios de usos del suelo realista (Veldkamp y Lambin, 2001).

Los modelos de cambios de usos representan parte del complejo sistema de la tierra. Son una herramienta de aprendizaje para desentrañar los factores explicativos y las dinámicas del sistema y sirven también para explorar la sensibilidad de los patrones de usos a cambios definidos por unas determinadas variables biofísicas, socio-económicas y espaciales (Veldkamp y Lambin, 2001; Verburg et al., 2006a). Juegan, además, un importante papel en explorar posibles desarrollos futuros que pueden darse en cuanto al uso de la tierra. Mediante el modelado del funcionamiento del sistema se puede explorar “qué pasaría si”, a través de diferentes escenarios; esto nos permite evaluar la influencia de alternativas políticas o regímenes de uso de la tierra, ya que la configuración de los usos del suelo puede ser resultado de una decisión política o de la evolución de la sociedad (Henríquez et al., 2006; Verburg et al., 2006a).

Así, entender las implicaciones en los cambios de usos y cubiertas del suelo es una parte fundamental para el planeamiento de un desarrollo sostenible. La transformación de estos cambios por la acción humana puede afectar la integridad de los recursos naturales y la producción de bienes y servicios. Los análisis de cambios de usos pueden servir para monitorear cambios en los cultivos, para valorar el impacto de deforestaciones, para estudiar cambios en la fenología de la vegetación, detectar el estrés hídrico de cultivos, etc. Mediante una planificación cuidadosa, se puede mejorar el bienestar de las personas, a la vez que nuestro entorno (Singh, 1989; EEA, 2006; Helming, et al., 2008).

Los análisis de patrones de cambios de usos del suelo pasados y futuros requieren de datos precisos, rigor científico y conocimientos de diferentes disciplinas (EEA, 2007c).

Tal y como señalan Lambin y Geist (2006), la creación de escenarios de usos del suelo se ha convertido en una herramienta cada vez más usada en la evaluación política y ambiental, con el fin de detectar futuros problemas ambientales y evaluar políticas que puedan resolver estos problemas. No se trata de prever el futuro, sino de explorar posibles futuros bajo un conjunto de condiciones. La creación de escenarios puede involucrar a los responsables políticos y a las partes interesadas para definir y negociar escenarios relevantes, sirviendo como herramienta a tener en consideración. Hay que tener en cuenta que ningún modelo es capaz de responder a todas las preguntas, sin embargo, a pesar de sus limitaciones, es un instrumento para poder llevar a cabo análisis y estudios como los comentados anteriormente.

La escala tiene una importancia clave en los modelos, en cuanto a que 1) el uso del suelo es el resultado de múltiples procesos que actúan a diferentes escalas espaciales y temporales; dependiendo de dichas escalas habrá diferentes procesos que dominan en los usos del suelo; 2) la agregación de procesos espaciales de detalle puede dar lugar a una representación no adecuada del proceso a un nivel superior; 3) nuestras observaciones están sujetas a la extensión y resolución de la medición que, normalmente, no se corresponde con el nivel al que operan los diferentes procesos; esto ocasiona que las observaciones proporcionen solamente una descripción parcial del sistema de usos del suelo, el cual es multi-escalar (Verburg et al., 2006a). La explicación de los cambios de usos del suelo, intentando responder a la pregunta de “porqué” y “en qué medida” está, por tanto, intrínsecamente relacionada con las escalas que se utilizan en los análisis (Briassoulis, 2000).

Los estudios de modelos de cambios de usos del suelo y de simulaciones llevados a cabo hasta ahora son muy numerosos. A continuación se muestra una recopilación de éstos. No es nuestra intención detallar uno por uno, ya que esto escapa de nuestro objetivo. Si se desea mayor detalle del aquí ofrecido, se pueden consultar los trabajos de Briassoulis (2000), donde se recopilan diferentes tipos de modelos, desde econométricos a modelos integrados; Agarwal et al. (2002), los cuales hacen una revisión y una evaluación de 19 modelos de cambios de usos del suelo y de modelos de simulación de ámbito regional y local, obtenidos del estudio de 136 artículos, que incluyen modelos de Markov, logísticos, econométricos, dinámicos, de autómatas celulares, etc.; Busch (2006) realiza una selección de 7 estudios y recopila 25 escenarios diferentes a escala global y a escala europea, en relación con paisajes agrarios; Pérez Campaña et al. (2004), llevan a cabo una revisión de 14 modelos predictivos de cambios de usos, donde se detallan los diferentes objetivos, escalas espaciales y los diferentes modelos que utiliza cada autor.

Verburg et al. (2004d) comparan diferentes modelos en relación con el nivel de análisis, la escala espacial y las dinámicas temporales, los factores explicativos y los efectos de vecindad y el nivel de integración; y Pontius et al. (2008) realizan una comparación, en cuanto a los datos de entrada y de salida y a la validación de los resultados, de 13 estudios que trabajan con 9 modelos de simulaciones de cambios de usos diferentes.

3.2. EL DESARROLLO DE LOS ANÁLISIS Y MODELOS DE CAMBIOS DE USOS Y CUBIERTAS DEL SUELO

3.2.1 Introducción

Dos son los pasos fundamentales a llevar a cabo en los estudios de cambios de usos: la detección de dichos cambios y la atribución de los cambios a un número de factores causales (Geist et al., 2006).

Los usos del suelo están definidos por factores naturales, socio-económicos, institucionales, culturales y legales, y están limitados por restricciones biofísicas, como pueden ser el clima, la topografía, la geología, la presencia de agua, etc. La localización de un uso del suelo puede estar influenciada, además, por factores como la tradición histórica o el modo de vida, por incentivos económicos o por la proximidad a ciertas áreas (Jansen, 2006).

Singh (1989) define la “detección de cambios” como el proceso de identificar diferencias en el estado de un objeto o fenómeno mediante la observación de éste en diferentes momentos en el tiempo.

La clasificación de los cambios se puede llevar a cabo de dos maneras diferentes: “a priori” o también denominada pre-clasificación, que incluye el análisis conjunto de dos imágenes en dos fechas diferentes, donde se clasifica el cambio; y “a posteriori” o post-clasificación, que incluye la clasificación temática de dos imágenes de dos fechas diferentes, cada una por separado. Así, en el primer método, primero se determina el cambio y luego se asignan las clases, y en el segundo, primero se asignan las clases y luego se determina el cambio, siendo este último el más utilizado en los estudios de cambios de usos del suelo. Para un mayor detalle sobre las diferentes técnicas que pueden utilizarse para la detección de esta información a través de imágenes satelitales puede consultarse el artículo de Lu et al. (2004) donde hacen una recopilación de 31 técnicas y modelos llevados a cabo hasta la fecha.

La profusión en la investigación sobre cambios de usos del suelo que se ha dado en las últimas décadas, ha conllevado a una sobre-abundancia de sistemas de clasificación del suelo, lo cual ha ocasionado la existencia de cartografía de usos del suelo realizada por diferentes grupos y en diferentes

zonas, la cual no es comparable. Actualmente, no hay ninguna clasificación de cubiertas y usos del suelo aceptada internacionalmente, a pesar de que han sido muchas organizaciones las que han realizado un esfuerzo en ello (Ramankutty et al., 2006). Algunas, como CORINE Land Cover (CLC), de hecho, han tenido un largo recorrido y han sido o son aplicadas y utilizadas en numerosos trabajos a escala europea, e incluso han sido exportadas y aplicadas a otros continentes (por ejemplo, en Marruecos, a través del proyecto MEDGEOBASE; o en Colombia³).

Los modelos de cambio de uso se han transformado en una poderosa herramienta de análisis espacial orientada, principalmente, a) a explorar los variados mecanismos que fuerzan los cambios de uso del suelo y las variables sociales, económicas y espaciales que conducen a esto; b) proyectar los potenciales impactos ambientales y socioeconómicos derivados de los cambios en el uso del suelo; y c) evaluar la influencia de alternativas políticas y regímenes de manejo sobre patrones de desarrollo y usos del suelo (Henríquez et al., 2006)

Los modelos, mediante la comparación de dos o más puntos en el tiempo, pueden responder a dos preguntas por separado: ¿dónde se llevan a cabo los cambios de usos del suelo?, es decir, la localización del cambio, y ¿qué tasas de cambio son probables que se produzcan?, es decir, la cuantificación del cambio (Veldkamp y Lambin, 2001).

3.2.2 Estudios previos y su importancia

Como se ha comentado previamente, los cambios de usos o cubiertas del suelo pueden tener un origen natural y/o antropogénico; por ejemplo, dentro del origen natural, dichos cambios pueden deberse a cambios climáticos, procesos geomorfológicos, incendios forestales naturales, etc.; dentro de los cambios antropogénicos, pueden deberse a alteraciones inducidas por la urbanización, por intensificación o abandono de usos agrarios, etc.

Hay que tener en cuenta que en regiones pobladas, los cambios en los usos del suelo son producidos, en su mayoría, por la actividad humana; reflejan la economía, las políticas y los planes espaciales de una región.

Investigadores, científicos y planificadores han prestado mucha atención a los aspectos de los cambios de usos del suelo en las últimas dos décadas. Se han desarrollado muchos trabajos usando diferentes metodologías y algoritmos; sin embargo, el componente geográfico, tan diferente y variado, hace difícil desarrollar una metodología general para poder aplicarla en diferentes regiones de la Tierra.

³ <https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/021759/021759.htm>

La mayor parte de los análisis de cambios se fundamentan en una matriz de transición o también llamada matriz de tabulación cruzada (Bell, 1974; Lo y Shipman, 1990; Green et al., 1994; Cousins, 2001; Ruescas, 2001; Chen, 2002; Briceño, 2003; Cardille y Foley, 2003; Castelán et al., 2007; Dupuy et al., 2007; Ding et al., 2007; Otto et al., 2007; Peña et al., 2007; Santana y Salas, 2007; Brannstrom et al., 2008; Camacho et al., 2008; Fraser et al., 2009; Rodríguez Verdú, 2010; Schulz et al., 2010; Mallinis et al., 2011); ésta nos permite obtener valores de cambio total, cambio neto, intercambio, ganancias brutas y pérdidas brutas entre dos pares de mapas de fechas diferentes, comparando los píxeles de uno y otro.

Sin embargo, son varios los autores que consideran que la medición de los cambios de usos del suelo no puede realizarse únicamente mediante un análisis de píxel a píxel. Así, Hagen-Zanker (2006) propone un método de una ventana móvil, con ponderación de la distancia; se basa en la idea de que la estructura en la localización de los usos está definida por su vecindad y que las celdas cercanas al centro de dicha vecindad tienen una influencia mayor que las que se localizan en los bordes.

Otro numeroso grupo de expertos realizan la comparación de mapas mediante la utilización de métricas del paisaje, ya que éstas pueden servir también para la obtención de valores de cambio del paisaje. Los índices más utilizados para cuantificar cambios en la estructura del paisaje son los relacionados con las métricas de parches o manchas (*patches*), como puede ser el tamaño de los parches, la longitud de los bordes, o con la dimensión fractal, el índice de forma, etc. (Lausch y Herzog, 2002; Nagendra et al., 2004; De Barros et al., 2005; Etter et al., 2006; Falucci et al., 2007; Rae et al., 2007; Barrios et al., 2008; Serra et al., 2008; Fraser et al., 2009; Townsend et al., 2009; Aguilera Benavente et al., 2010; Mallinis et al., 2011; Pascual et al., 2011).

A continuación se presenta un resumen de los proyectos más reseñables que se han desarrollado en los últimos años sobre la dinámica histórica de diferentes usos del suelo y las implicaciones y los impactos de estos cambios tienen sobre el territorio, muchos de los cuales tienen relación directa con la elaboración de escenarios futuros.

Estudios / Proyectos globales:

A nivel global, uno de los proyectos más ambiciosos de observación de la Tierra, fue el GMES (Global Monitoring for Environment and Security⁴). Su objetivo fue proporcionar información precisa y de fácil acceso para mejorar la gestión del medio ambiente, comprender y mitigar los efectos del cambio

⁴ <http://www.land.eu/>

climático y garantizar la seguridad civil. El programa estuvo a cargo de la Comisión Europea (CE), en colaboración con la Agencia Espacial Europea (ESA) y la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA). La ESA coordinaba la entrega de los datos de más de 30 satélites diferentes, la EEA fue la responsable de los datos de sensores aéreos y terrestres, mientras que la CE, en nombre de la Unión Europea (UE), fue la responsable de la iniciativa global, el establecimiento de requisitos y la gestión de los servicios. Estos servicios se dividían en seis categorías principales: gestión de la tierra, medio marino, los relacionados con el medio ambiente y la ayuda a la respuesta de emergencia, los relacionados con la seguridad y los relacionados con el cambio climático.

Dentro del GMES, el proyecto Geoland2 fue el responsable de cartografiar y monitorear los cambios de cubiertas del suelo a diferentes escalas espaciales y temporales, y generar una infraestructura de base de datos espaciales. Este proyecto fue desarrollado entre 2008 y 2011.

Actualmente, el GMES, ha sido sustituido por Copernicus (The European Earth Observation Programme⁵), el cual ha comenzado a ser operativo en el año 2012. Este programa, desarrollado también por la EEA y la CE, tiene un servicio de monitoreo de la Tierra cuyo objetivo es proporcionar información geográfica en materia de usos y cubiertas del suelo, y de variables relacionadas con el estado de la vegetación y el ciclo del agua, para aplicaciones en la ordenación territorial, la gestión forestal o del agua, la seguridad alimentaria, etc., a escala pan-europea, global y local. Está relacionado con el proyecto EUROLAND, que aparece descrito más adelante.

En cuanto a observación de la Tierra a nivel global, podemos encontrar también el GEOSS (Global Earth Observation System of Systems⁶) desarrollado por el Grupo de Observación de la Tierra (GEO) creado por el G8 en el año 2002. El objetivo del programa GEOSS para el periodo 2005-2015 es recopilar y generar datos que permitan responder a preguntas sobre desastres inducidos por el hombre o por la naturaleza, entender las fuentes ambientales de riesgo para la salud, administrar los recursos energéticos, responder al cambio climático y sus impactos, salvaguardar los recursos hídricos, mejorar el pronóstico del tiempo, gestionar los ecosistemas, y promover la agricultura sostenible y la conservación de la biodiversidad y con el fin de que puedan ser de utilidad en políticas que garanticen importantes beneficios económicos, sociales y ambientales.

El programa de la NASA Land-cover and Land-use change⁷ funciona como integrador de las diferentes actividades en relación con esta temática que se están trabajando en NASA Earth Science. El objetivo es contestar preguntas

⁵ <http://copernicus.eu/>

⁶ <http://www.earthobservations.org/geoss.shtml>

⁷ <http://lcluc.umd.edu/>

acerca de la vulnerabilidad climática, los impactos y la capacidad de adaptación y la interacción entre clima y medio ambiente; tiene una relación directa con las iniciativas de Carbón y Agua. Dos de los temas principales es la detección y el monitoreo de los cambios de usos y cubiertas del suelo y la generación de modelos predictivos de usos del suelo, que se desarrollan bajo diferentes proyectos que van desde la escala global hasta estudios a nivel de cuenca.

La FAO también tiene su propia red de recogida de datos sobre cambios de usos del suelo, llamada GLCN (Global Land Cover Network - Global Alliance for Standard Multi-purpose Land Cover Data Production⁸). Se creó en el año 2002 con el objetivo de armonizar las definiciones de cubiertas del suelo, su sistema de clasificación y las especificaciones a la hora de cartografiar y monitorear dichas cubiertas; se pretende desarrollar un estándar para la generación de cartografía a escala global y crear una base de datos a dicha escala (FAO, 2005).

Otro programa interesante es el Land-Use and Land-Cover Change Science/Research Plan, que integra el International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) y el Human Dimension of Global Environmental change Programme (IHDP). Es un programa internacional e interdisciplinario cuyo objetivo es el estudio, de manera cooperativa, de las dinámicas del cambio global y las fuerzas humanas y biofísicas que dan forma a los cambios de usos y cubiertas del suelo; se trata de proveer de información acerca de los cambios pasados en la cubierta de la tierra, intentar explicar las dinámicas y los factores responsables de estos cambios e identificar regiones críticas que son particularmente vulnerables al cambio medioambiental global. La meta es mejorar el entendimiento de los cambios regionales entre usos y cubiertas del suelo. Una de las iniciativas que promueven es el Global Land Project⁹ (GPL) iniciado en 2005 y cuyo objetivo es la identificación conjunta de los agentes y estructuras del cambio en sistemas sociales y ambientales para analizar el efecto que tienen en el sistema global, así como identificar cuáles son las dinámicas que son vulnerables en cuanto a la sostenibilidad de dicho sistema, y cómo los cambios que se suceden están afectando a la provisión de servicios del ecosistema o *ecosystem services*. El reto es mejorar el conocimiento de la compleja retroalimentación entre los componentes sociales y medioambientales del sistema de la tierra y aumentar la escala de los procesos locales y regionales para lograr una comprensión global de los procesos.

Por último, el programa REDD¹⁰, actualmente REDD+, tiene como objetivo desarrollar estrategias, análisis, metodologías, herramientas y prácticas comunes para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y crear un valor financiero para el carbono almacenado en los bosques. Aunque es un

⁸ http://www.glcnet.org/index_en.jsp

⁹ <http://www.globallandproject.org/>

¹⁰ <http://www.un-redd.org/>

programa más específico, enfocado a las emisiones de gases invernadero y a la deforestación y a la degradación de los bosques, estudia los cambios de usos del suelo que se han sucedido en los sistemas forestales de países en desarrollo para poder analizar las posibles consecuencias que éstos tienen en dichas emisiones. Este programa fue iniciado en 2008 por la ONU y actualmente cuenta con 46 países socios de África, Asia-Pacífico y América Latina.

Estudios / Proyectos europeos:

Son numerosos los proyectos desarrollados en este ámbito espacial. Como se verá, algunos de ellos están asociados a estudios prospectivos, con la realización de escenarios futuros.

El programa europeo de observación de la Tierra lleva el nombre de EUROGEOSS¹¹. Su objetivo es crear un sistema europeo operativo de observación medioambiental en Europa. Tiene tres áreas estratégicas: sequía, bosques y biodiversidad. El sistema permite el acceso a datos pero también a modelos analíticos que pueden ser utilizados por científicos de diferentes campos disciplinarios.

El programa ESPON (Red Europea de Observación para el desarrollo territorial y de cohesión¹²) fue adoptado por la CE, en 2006, con el objetivo de llevar a cabo estudios e investigaciones sobre el desarrollo territorial y la ordenación del territorio desde una perspectiva europea para apoyar la formulación de políticas; para ello, se realizaron diagnósticos de las principales tendencias territoriales a escala de la UE, así como de las potencialidades y de los desequilibrios presentes en dicho territorio. Este año, ha comenzado el programa ESPON 2013, donde el objetivo continúa siendo el apoyo a la formulación de políticas de cohesión territorial acordes con el desarrollo armónico de Europa mediante el suministro de información comparable y el análisis y el desarrollo de escenarios de dinámicas territoriales, para contribuir a la competitividad, a la cooperación territorial y a un desarrollo sostenible y equilibrado. El trabajo realizado contribuirá a la Estrategia Territorial Europea 2020 con el reto de favorecer un crecimiento inteligente, sostenible e integrador.

En cuanto a la toma de datos y realización de cartografía temporal de cubiertas y usos del suelo en Europa, el referente clave es el programa CORINE (Coordination of Information on the Environment) y su proyecto Land Cover. Iniciado en 1985, tiene como objetivo obtener una base de datos europea de ocupación del suelo para el análisis territorial y la gestión de políticas europeas.

¹¹ <http://www.eurogeoss.eu/>

¹² <http://www.espon.eu/main/>

Los datos de CORINE Land Cover (CLC) han sido obtenidos a partir de análisis de imágenes de satélite y pueden ser utilizados para estimar el balance de cada uno de los principales tipos de cobertura del suelo encontrados en Europa. Actualmente se posee información temporal de los años 1990, 2000 y 2006, estando en proceso de realización la del año 2012. Esto nos permite obtener información de tres fechas diferentes, realizadas con una metodología y fuentes de información estandarizadas, pudiéndose llevar a cabo además, estudios comparativos entre diferentes países o regiones de la UE.

Por otra parte, LUCAS (Land use change analysis system¹³) es un programa que ha desarrollado un sistema de observación de usos del suelo mediante la recogida de muestras de puntos georreferenciados, con el objetivo de ofrecer estimaciones representativas y armonizadas de la cobertura y usos del suelo en la UE. Nació en el año 2000 recogiendo información de 15 estados miembros y, en el año 2009, se amplió a 25 países; hoy en día se ha ampliado a 27 países de la UE, por lo que, en algunos estados es posible hacer un seguimiento de los cambios de usos del suelo que se han sucedido en el tiempo, ya que siempre se recoge la información de los mismos puntos. Está previsto que los resultados de LUCAS 2012 estén disponibles para su descarga en 2013.

En relación con CLC y dentro del proyecto global Geoland2, citado en el apartado anterior, se inserta el proyecto EUROLAND (European Land Monitoring Service¹⁴) cuyos objetivos son: a) la mitigación de las presiones ambientales, la provisión de una base de datos a nivel pan-europeo para el seguimiento de la expansión y dispersión urbana; y b) el desarrollo y la implementación de una cadena de procesamiento para producir capas de cobertura de la tierra que contribuyan a un mejor conocimiento de la evolución de la tierra y de las tendencias ecológicas o ambientales que se producen. Uno de los productos llevados a cabo es el Urban Atlas, una cartografía de las principales aglomeraciones urbanas europeas de más de 100.000 habitantes, generada con imágenes de alta resolución; estos mapas tienen 19 clases temáticas y una unidad mínima cartografiable de 0,25 ha. para las clases urbanas y 1 ha. para el resto de las clases; se pretende realizar dicha cartografía cada 3 años (en el caso de la ciudad de Madrid y su área metropolitana, a día de hoy, está realizada la correspondiente al año 2010). Además de esta cartografía, se realizan capas de información de alta resolución para cubiertas forestales, pastizales, humedales y agua, con un píxel de 1 ha. y con una periodicidad de entre 3 y 5 años, con el objetivo de generar información temática más eficiente que ayude a la generación de datos a nivel regional y nacional, así como a la actualización de los mapas CLC.

¹³ <http://www.lucas-europa.info>

¹⁴ <http://www.gmes-geoland.info/project-background/project-tasks/core-mapping-services/land-cover-and-land-use-monitoring.html>

Estudios / Proyectos en España, a escala nacional y a escala regional o local:

No son muchos los proyectos que se han llevado a cabo en este sentido en el territorio nacional en comparación con los desarrollados a escala europea.

El Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE), organismo que ha cerrado sus puertas el 31 de mayo de 2013 después de ocho años de andadura, ha sido el encargado de realizar informes sobre cambios de usos del suelo en el estado español. Mediante la utilización de los mapas CLC, ha elaborado diversos informes que estudian la trayectoria de los usos del suelo entre los años 1987 y 2000, y entre 2000 y 2006, respectivamente. Colaboraba además con el programa ESPON, citado anteriormente.

El SIOSE (Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España) tiene como objetivo integrar la información de las bases de datos de coberturas y usos del suelo de todas las Comunidades Autónomas y de la Administración General del Estado. Se enmarca dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio en España (PNOT) que coordina y gestiona el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Entre una de sus múltiples aplicaciones para la planificación y gestión de recursos medioambientales, destacan los estudios dinámicos sobre ocupación del suelo. La producción cartográfica se realiza a escala 1:25.000 con imágenes SPOT5, complementándose con imágenes LANDSAT5 TM y ortofotos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). En la actualidad, sólo se cuenta con la información del año 2005, sin embargo, Cantarino (2013) detalla que se está llevando a cabo un proceso de actualización con información de los años 2009 y 2011.

El proyecto SISPAIRES (Sistema de seguimiento de los paisajes rurales españoles¹⁵) trata de caracterizar la estructura de los paisajes rurales, así como analizar y evaluar su dinámica a lo largo del tiempo. Obtiene estimaciones a nivel nacional, mediante 215 muestras diferentes, con una dimensión media de 1.600 ha., distribuidas a lo largo de todo el territorio. Mediante fotointerpretación y trabajo de campo se ha estudiado la evolución de los usos del suelo y de diferentes procesos en cuatro puntos temporales: 1956, 1984, 1998 y 2008.

El proyecto EPRODESERT (Evaluation of processes leading to land degradation and desertification under extensified farming systems¹⁶) está enfocado en la desertificación y estudia las sucesiones de vegetación y de usos del suelo que se han dado en Aragón. Utilizando fotos aéreas a gran escala, tomadas desde un zeppelin aerostático teledirigido y, combinándolas con una clasificación de la morfodinámica y de la vegetación, estudia detalladamente la

¹⁵ <http://www.sispares.com/>

¹⁶ http://web.uni-frankfurt.de/fb11/ipg/forschung/eprodes/epron_e.html

evolución de los campos abandonados, para cuantificar los procesos de infiltración, escorrentía y erosión eólica que se han producido.

Los proyectos SIMURBAN1 y SIMURBAN2, coordinados por el Departamento de Geografía y Geología de la Universidad de Alcalá, tienen como objetivo la elaboración de una metodología que sirva de apoyo para llevar a cabo una planificación territorial sostenible de desarrollo futuro de los espacios metropolitanos, mediante el análisis del crecimiento urbano experimentado en los últimos años y la incidencia de los instrumentos de planificación territorial, y mediante la elaboración de escenarios de futuro que informen sobre las consecuencias que la evolución de dicho fenómeno puede tener sobre el territorio, en relación con la sostenibilidad. El objetivo es proponer instrumentos y metodologías que ayuden a las administraciones a elaborar propuestas de OT que permitan un desarrollo territorial más equilibrado.

Las diferentes CC.AA han elaborado también su propia cartografía de usos del suelo. Por ejemplo, en Andalucía, la Red de información ambiental de Andalucía (REDIAM) ha elaborado varios mapas de usos y cubiertas vegetales del suelo a diferentes escalas espaciales y temporales: a escala 1:100.000 se puede encontrar información de los años 1985, 1987 y 1995; a escala 1:50.000, de los años 1991, 1995 y 1999; y a escala 1:25.000, de 1956, 1977, 1984, 1999, 2003 y 2007; a su vez, han elaborado también mapas de cambios de usos del suelo con dicha cartografía. Si se desea más información en este tema puede consultarse el documento de Moreira (2006)

3.2.3 Métodos y modelos de cambios de usos y cubiertas del suelo.

La rápida evolución que se ha producido en los estudios de los cambios de usos del suelo ha originado un amplio mosaico de diferentes técnicas y modelos cada vez más complejos. En este apartado se presenta una recopilación de las diferentes metodologías que se han utilizado en relación con los cambios de usos y cubiertas del suelo y los factores que influyen dichos cambios. En este sentido, el presente apartado tiene una estrecha relación con el apartado de los escenarios, ya que el estudio previo de los factores que impulsan los cambios es esencial para poder generar modelos de usos del suelo futuros.

Verburg et al. (2004d) define los modelos de cambios de usos del suelo como herramientas para el análisis de las causas y consecuencias de las dinámicas de usos del suelo. La mayoría de los modelos de usos del suelo tratan de combinar los procesos humanos y procesos naturales.

Verburg et al. (2006a) diferencian hasta 6 tipos de modelos:

Una primera distinción que puede hacerse es entre modelos no espaciales y modelos espaciales. Los modelos no espaciales se centran en el modelado de la tasa y de la magnitud del cambio de uso del suelo, sin prestar atención específica a su distribución espacial. Los modelos espaciales, sin embargo, apuntan a representaciones espacialmente explícitas del cambio de usos del suelo; este grupo de modelos es, por tanto, capaz de explorar las variaciones espaciales de los cambios de usos del suelo y la cantidad de dicha variación; el cambio puede estar indicado por píxeles individuales en un ráster o por otras entidades espaciales, como pueden ser otro tipo de entidades poligonales o vectoriales o las unidades administrativas.

Una segunda distinción puede hacerse entre modelos dinámicos y modelos estáticos. Los modelos dinámicos otorgan una atención especial a las dinámicas temporales del sistema de usos del suelo, representados por la competición entre los usos del suelo, la dependencia de los cambios pasados y las trayectorias de cambios de usos establecidas. Los modelos estáticos pueden ser utilizados para testear nuestro conocimiento acerca de los factores explicativos del cambio, mientras que los modelos dinámicos son utilizados para realizar proyecciones futuras de cambios de usos.

La tercera distinción diferencia los modelos descriptivos y los modelos prescriptivos. Los modelos descriptivos se centran en la simulación del funcionamiento del sistema de usos del suelo y en explorar el futuro próximo de los patrones de éstos. Los modelos prescriptivos, sin embargo, se centran en el cálculo de configuraciones optimizadas de usos del suelo que responden a un conjunto de objetivos y metas. Los modelos descriptivos están basados en el sistema actual de usos del suelo y en el proceso dominante que marca los cambios en ese sistema; proporcionan información detallada sobre el funcionamiento del sistema a través de la comprobación de hipótesis y el análisis de las interacciones; este tipo de modelos es capaz de calcular proyecciones de cambios de usos del suelo bajo unas condiciones dadas. Los modelos prescriptivos incluyen el sistema actual de usos del suelo como una restricción para obtener configuraciones de usos del suelo más óptimas; son especialmente útiles para el análisis de políticas, proporcionando una visualización espacial de los patrones; sin embargo, éstos no proporcionan información de las trayectorias de cambio de usos del suelo reales ni de las condiciones intermedias que podrían ser necesarias para llegar a una situación óptima.

Una cuarta distinción de modelos se da entre modelos deductivos y modelos inductivos. La mayoría de los modelos de usos del suelo tienen un enfoque inductivo, en el cual las especificaciones del modelo están basadas en correlaciones estadísticas entre los cambios de usos y un conjunto de variables que proporcionan una idea de este cambio. Existen diferentes tipos de modelos inductivos, desde modelos donde la toma de decisiones la llevan a cabo

diferentes actores y donde las interacciones están basadas en observaciones, hasta modelos donde la relación entre los patrones de usos y la variabilidad espacial de las condiciones socio-económicas y biofísicas se captura mediante técnicas estadísticas, normalmente regresiones, o mediante otras técnicas empíricas como las redes neuronales. Los modelos deductivos, en cambio, están basados en la teoría que predice patrones desde los procesos; utilizan la teoría para caracterizar las relaciones de los patrones de usos del suelo; estructuran al modelo mediante las relaciones entre el hombre y el medio y centran la atención en los datos requeridos para explorar dichas relaciones.

Existen modelos basados en agentes y modelos basados en la representación de píxeles. En muchos modelos espacialmente explícitos, la unidad de análisis está basada en un área, definida ésta como un polígono que representa un campo, una parcela o un censo, o un píxel como parte de la representación de un ráster. A escala de más detalle, cuando la unidad de análisis es una parcela o una granja, se utiliza en ocasiones a los agentes.

Por último, a nivel espacial, podemos distinguir entre modelos regionales y modelos globales. Muchos han sido los modelos regionales de usos del suelo que se han llevado a cabo y, sin embargo, se han desarrollado muy pocos modelos globales. Los modelos de usos del suelo regionales varían mucho en cuanto a la extensión, desde casos de estudios locales con áreas de pocos kilómetros cuadrados, hasta a nivel de país o incluso nivel de continente, con resoluciones que varían entre los 50 m² y los 1000 km².

McDonald y Urban (2006) citando a Johnson (1977) comentan que los primeros modelos de cambios de usos y cubiertas del suelo eran no-espaciales, donde la probabilidad de cambio para todas las zonas estaba estimada como la proporción de celdas que habían cambiado en el último periodo de tiempo; esto describe un proceso de cadenas de Markov, donde la probabilidad de un cambio en una cubierta de suelo (por ejemplo, de bosque a no bosque) es constante e igual para todas las áreas de bosque. Es por ello que las cadenas de Markov ofrecen un medio para analizar los cambios de usos del suelo cuando los datos no son espacialmente explícitos o son de una resolución espacial grosera, y permiten, a su vez, la exploración inductiva del cambio de usos del suelo proporcionando pistas sobre la dinámica de éstos. Los enfoques markovianos asumen que el pasado inmediato es el mejor predictor del futuro próximo, bajo la condición de estacionalidad, y utiliza, por ello, las probabilidades de transición de estados pasados para estimar el futuro. (Geoghean et al., 1998). Así, estos modelos son adecuados para estimar la cantidad de cambio, pero no son apropiados para estimar la localización de éstos (Jokar et al., 2013). Las probabilidades de transición de Markov deben hacerse, por tanto, espacialmente explícitas.

Es por ello que, posteriormente, se incorporan a los modelos un conjunto de variables explicativas que sí pueden ser modeladas espacialmente, como el definido por McDonald y Urban (2006) mediante la ecuación:

$$P(d)i = f(x_i) + \varepsilon$$

donde, la probabilidad de cambio en el píxel i es una función del vector x de variables explicativas medidas en la localización i . Esta función f puede ser tan complicada como se desee, dependiendo de las variables explicativas contenidas en x . x puede contener información del estado de los píxeles adyacentes, como es la proporción de celdas vecinas que han sido ya deforestadas, proporcionando al modelo atributos de un autómata celular (CA), en el que los procesos de simulación se basan en la interacción de los píxeles vecinos, definiendo el dominio geográfico de influencia (Tobler, 1975; Verburg et al., 2006a; Pan et al., 2010; Jokar et al., 2013); de esta manera, el cambio no solo depende de su estado previo, sino también del estado previo de sus vecinos inmediatos. Estos modelos, basados en autómatas celulares, fueron creados por John Von Neuman y Stanislaw Ulam en los años 40 y, hoy en día, se han convertido en una de las técnicas más utilizadas a la hora de estudiar y predecir el crecimiento urbano.

Continuando la cita de McDonald y Urban (2006), muchas de las reglas que gobiernan los cambios de usos y cubiertas del suelo varían de un sitio a otro y no se ajustan al principio de estacionalidad; hay fuerzas exógenas como decisiones políticas, zonificaciones o el deseo de determinados agentes en localizar cierto uso en un sitio determinado, que pueden tener profundos efectos en los cambios de usos del suelo. Estas fuerzas alteran las trayectorias de los cambios y sugieren que la función f difiere dependiendo del lugar: las reglas del cambio son, pues, espacialmente heterogéneas.

Hay que tener en cuenta, además, que la relación entre los cambios de usos del suelo y las variables no siempre se establece de manera lineal.

En un modelo de regresión logística la probabilidad de cambio se define como:

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta x + \varepsilon$$

donde p es la probabilidad de cambio, y x es el vector de las variables explicativas. Una regresión logística es una forma específica de un modelo lineal generalizado (GLM). Es un ejemplo de modelo espacialmente homogéneo. Sin embargo, si las variables explicativas y las múltiples interacciones son espacialmente estructuradas es posible obtener un porcentaje de heterogeneidad espacial en las reglas de cambio de usos (McDonald y Urban, 2006).

Un ejemplo de modelos espacialmente heterogéneos pueden ser los árboles de clasificación o las redes neuronales (Geoghean et al., 1998; Brown et al., 2002). Los modelos de árboles de clasificación (CART) tienen un enfoque no paramétrico que parte, de forma recursiva, de un conjunto de datos en subconjuntos que son cada vez más homogéneos con respecto a la variable respuesta, basándose en una división binaria óptima de un conjunto de variables explicativas (Moore et al., 1991). Las redes neuronales son capaces de modelar el cambio y cuantificar el comportamiento complejo y los patrones de cambio teniendo en cuenta relaciones no lineales entre las variables explicativas y los cambios de usos del suelo y el carácter correlacionado de las variables, tanto de naturaleza cronológica como espacial (Paegelow et al., 2003; Vafeidis et al., 2007); consiste en capas y neuronas que simulan la estructura de un cerebro humano: consta de una capa de entrada, una capa de salida y unas capas ocultas entre ambas; las neuronas o nodos son las unidades básicas del proceso y están dispuestas en dichas capas (Li y Yeh, 2002).

Como se ha comentado anteriormente, en los modelos basados en agentes o actores (ABM) o en sistemas multiagentes (MAS), la decisión de éstos es análoga a la función f descrita previamente; si existen diferentes tipos de agentes con diferentes preferencias habrá entonces múltiples funciones para cada una de las tipologías de agente (McDonald y Urban, 2006). Estos modelos representan las decisiones humanas y sus interacciones y consisten en la introducción de entidades autónomas de decisión (agentes o actores) en los modelos (Parker et al., 2002; Valbuena et al., 2008). Su importancia radica en la pauta de que el territorio es un medio donde los actores interactúan, por lo que es importante conocer las reglas que definen las relaciones entre los agentes y el medio, y las reglas que determinan el orden de las acciones en el modelo; el actor (un individuo, un hogar o una institución) lleva a cabo acciones específicas de acuerdo a sus propias reglas de decisión, lo que deriva en cambios en las cubiertas de la tierra. Estas decisiones son las que deben ser parametrizadas por las reglas de decisión (Parker et al., 2002; Valbuena et al., 2008). Una de las desventajas de la utilización de los agentes como unidad básica de simulación es la dificultad de representar adecuadamente el comportamiento y la complejidad de las interacciones humanas y medioambientales a diferentes escalas espaciales (Rindfuss et al., 2004; Rounsevell et al., 2012)

Otro método utilizado es la Evaluación Multicriterio (EMC) que considera la capacidad del territorio para acoger un determinado uso del suelo y no sólo el ritmo temporal de éste. Mediante este método pueden ser definidas las reglas de transición y puede generarse un mapa de idoneidad, en función de unos objetivos y criterios establecidos (Paegelow et al., 2003; Gómez Delgado y Barredo, 2005).

Los modelos de cambios de usos no tienen por qué utilizar una única técnica de modelización como las aquí descritas, sino que muchas veces combinan varias. Así, por ejemplo, Valbuena et al. (2008) utilizan los árboles de clasificación como apoyo para la generación de un modelo de agentes; Rounsevell et al. (2012) proponen integrar la EMC con procesos participativos de agentes; Overmars et al. (2007) utilizan regresión logística y también un método basado en actores.

Como se ve, estos métodos y modelos ayudan a entender la relación entre los cambios de usos del suelo y los procesos que definen dicho cambio y funcionan además, en muchos casos, como base para la creación de escenarios de futuro, ya que para estimar las probabilidades de transición de un uso del suelo, los cambios de usos del suelo deben ser modelados como una función de diferentes variables explicativas.

Para más información sobre diferentes técnicas y modelos utilizados, pueden consultarse los artículos de autores que se citan a continuación: cadenas de Markov (Bell, 1974; Logsdon et al., 1996; Paegelow et al., 2002; Paegelow et al., 2003; Gómez-Mendoza et al., 2006; Henríquez et al., 2006; García-Frapolli et al., 2007; Peña et al., 2007; Jokar et al., 2013); regresiones lineales (Loibl et al., 2007; Serra et al., 2008); regresiones logísticas, tanto simples como múltiples (McDonald y Urban, 2006; Rickebusch et al., 2007; Aguilera et al., 2008; de Aranzabal et al., 2008; Prieto et al., 2008; Serra et al., 2008; Conway, 2009; Lima et al., 2011; Jokar et al., 2013); árboles de clasificación (McDonald y Urban, 2006); modelos participativos basados en agentes o multi-agentes (Li y Yeh, 2002; Tress y Tress, 2003; He et al., 2004; Castella et al., 2007; Castella y Verburg, 2007; Loibl et al., 2007; Patel et al., 2007; Bohnet, 2008; Soliva y Hunziker, 2009; Le et al., 2010); autómatas celulares (Paegelow et al., 2002; Paegelow et al., 2003; Henríquez et al., 2006; García-Frapolli et al., 2007; Aguilera et al., 2008; Walsh et al., 2008; Pan et al., 2010; Pascual et al., 2011; Jokar et al., 2013); evaluación multicriterio (Paegelow et al., 2002; Paegelow et al., 2003; Pérez Campaña et al., 2004; Henríquez et al., 2006; Aguilera et al., 2008; Plata Rocha et al., 2010; Pascual et al., 2011) o redes neuronales (Li y Yeh, 2002; Vafeidis et al., 2007).

La selección de los factores explicativos de los cambios de usos del suelo que se desean analizar es fundamental, ya que de ellos dependerá el resultado de nuestro modelo. Así, tal y como exponen Verburg et al. (2006a), uno de los componentes principales del modelo de usos del suelo es la selección de los factores explicativos usados en dicho modelo y su plasmación en un mapa de idoneidad. Un modelo debe tratar de combinar factores biofísicos y humanos que traten de explicar los patrones espaciales de los diferentes usos del suelo con los que se trabaja. El objetivo del estudio, la escala espacial y temporal y las particularidades de la zona que se desea modelar determinarán la elección de dichos factores, ya que éstos están directamente relacionados con el tipo de

patrón que será observado; es decir, los patrones que aparecen a un nivel de resolución determinado no tienen por qué observarse a una resolución mayor o menor.

Los factores biofísicos están determinados por factores naturales que condicionan la localización de los cambios de usos; éstos pueden ser: climatología, litología, topografía, hidrología, vegetación, etc. Los cambios de usos están condicionados, a su vez, por factores socio-económicos como pueden ser el empleo, las migraciones, los mercados, los costes de transporte, etc.; los factores culturales también tienen un papel importante: las motivaciones, actitudes o tradiciones afectan a las decisiones de localización.

A pesar de que se deben considerar factores naturales y socio-económicos en su conjunto, no todos los estudios llevan a cabo un análisis de ambos. Prácticamente todos los trabajos utilizan como variables las derivadas de un modelo digital del terreno, es decir, altitud y pendiente y, en muchos casos, la orientación también. Igualmente, son considerados factores como la temperatura o las precipitaciones (Rounsevell et al., 2003; Peña et al., 2007; Rickebusch et al., 2007; Wassenaar et al., 2007; Rutherford et al. 2008; Aitkenhead y Aalders, 2009; Lima et al., 2011; Sangermano et al., 2012) o datos geológicos, litológicos o geomorfológicos (Verburg et al., 1999a,b; Paegelow et al., 2002; Chen et al., 2003; Rounsevell et al., 2003; Verburg et al., 2004c; Lesschen et al., 2007; Rickebusch et al., 2007; Vafeidis et al., 2007; Wassenaar et al., 2007; Aitkenhead y Aalders, 2009; Lima et al., 2011; Sangermano et al., 2012).

Son numerosos también los estudios que incluyen factores de accesibilidad, sea en modo de distancias o de costes de transporte (Hazen y Berry, 1997; Hilferink y Rietveld, 1999; Verburg et al., 1999a; Brown et al., 2002; Li y Yeh, 2002; Paegelow et al., 2002; Verburg et al., 2004b,c; Henríquez et al., 2006; McDonald y Urban, 2006; Lesschen et al., 2007; Loibl et al., 2007; Rickebusch et al., 2007; Vafeidis et al., 2007; Wassenaar et al., 2007; Overmars et al., 2007; Aguilera et al., 2008; Rutherford et al., 2008; Walsh et al., 2008; Conway, 2009; Plata Rocha et al., 2010; Pascual et al., 2011; Jokar et al., 2013).

Factores demográficos, como pueden ser la densidad de población, también son muy utilizados (Hazen y Berry, 1997; Verburg et al., 1999b; Rounsevell et al., 2006; Loibl et al., 2007; Vafeidis et al., 2007; Wassenaar et al., 2007; de Aranzabal et al., 2008; Walsh et al., 2008; Zondag y Borsboom (2009); Jokar et al., 2013), así como datos de empleo en determinados sectores económicos (Rounsevell et al., 2003; Rounsevell et al., 2006; Peña et al., 2007; Rickebusch et al., 2007; de Aranzabal et al., 2008)

Huelga decir que la política gubernamental juega un papel omnipresente en los cambios de usos; para Rounsevell et al. (2012) los usos del suelo futuros están fuertemente determinados por cambios en las políticas, como pueden ser

reformas en las políticas agrarias, la liberación de los mercados o la conservación de la naturaleza, pero también con políticas de mitigación o adaptación al cambio climático. Verburg et al. (2004c) comentan que cualquier estudio que trate sobre cambios en los patrones de usos del suelo debería estar precedido por un inventario de las políticas espaciales que son relevantes en el área de estudio.

Así, se deben tener en cuenta los patrones históricos de los usos del suelo, las restricciones climáticas, económicas y ecológicas, las causas del cambio, cómo las diferentes causas actúan juntas creando sinergias y cómo las diferentes actividades retroalimentan y afectan a dichas causas (Reid et al., 2006). Cualquier descripción del sistema de usos del suelo sin un componente humano dinámico nunca alcanzará un valor realista (Veldkamp y Fresco, 1997), en especial, cuando se estudia un periodo de tiempo corto a escala local, ya que, en este ámbito, son los factores humanos los que normalmente dominan las fuerzas del cambio (He et al., 2004).

La preparación de estos datos de entrada es una tarea muy importante.

La figura 3-1 muestra un ejemplo del funcionamiento de un modelo espacialmente explícito donde, mediante la utilización de factores explicativos de la cantidad de cambio y de factores explicativos de la localización del cambio, puede desentrañarse la magnitud del cambio y generar un mapa de idoneidad del cambio.

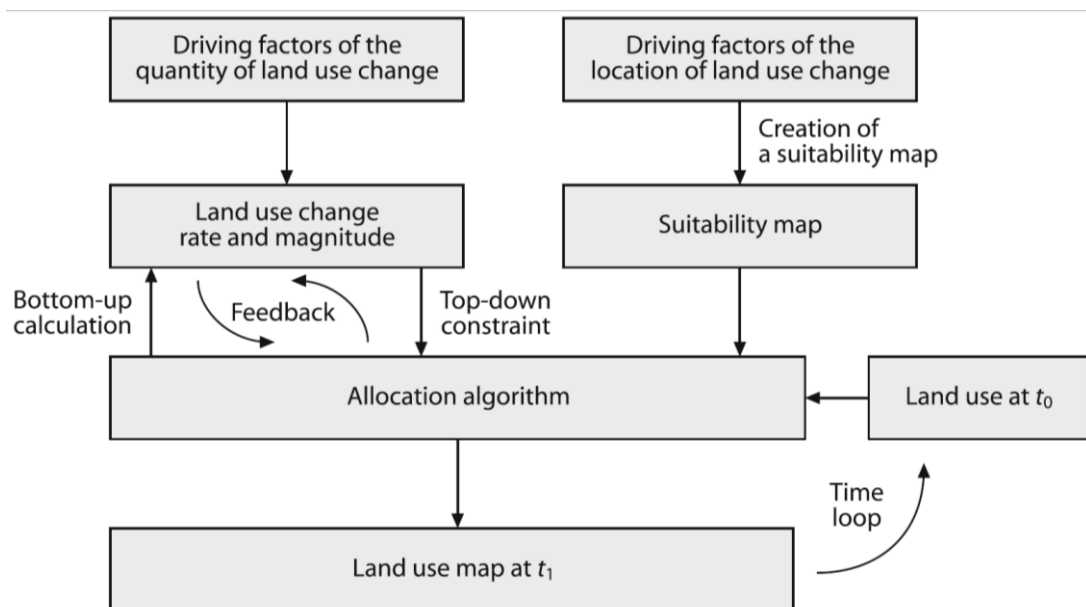


Figura 3-1. Funcionamiento de los modelos espacialmente explícitos. Fuente: Lambin y Geist (2006), p. 119.

3.3. EL DESARROLLO DE MODELOS DE SIMULACION DE USOS Y CUBIERTAS DEL SUELO

3.3.1 Introducción

Los escenarios no son una predicción ni un pronóstico, sino que deben ser entendidos como descripciones e imágenes coherentes, consistentes y plausibles de un posible estado futuro (Brown et al., 2002; EEA, 2007c; Patel et al., 2007) o, como Alcamo et al. (2006) señalan, de “*futuros no inverosímiles*”, que ayuden a manejar las incertidumbres, examinando varias alternativas de futuro y comparando las consecuencias potenciales que éstos pueden tener (Verburg et al., 2006c). Así, un modelo de simulación permite reproducir un fenómeno existente en un área de estudio determinada y/o generar posibles futuros si se dan unas determinadas características en el pasado.

Se trata, pues, de poner de manifiesto qué es lo que podría ocurrir bajo diferentes supuestos, por lo que los modelos de simulación pueden funcionar como una herramienta para la elaboración de imágenes tendenciales y deseadas en el ejercicio de la planificación (Gallardo y Martínez-Vega, 2012b). Es por ello que existe una necesidad de desarrollar escenarios y evaluaciones a escala regional o local para identificar los patrones de usos del suelo con características óptimas que satisfagan simultáneamente objetivos económicos, sociales y medioambientales (Parker et al., 2002).

La generación de escenarios futuros contribuye, además, a un mejor entendimiento de los principales procesos de cambios de usos del suelo. Pueden ser utilizados como un sistema de alerta temprana que pone de manifiesto y subraya los efectos de los cambios futuros de usos del suelo y los puntos calientes que son prioritarios para un análisis en profundidad o con interés en la intervención política (Verburg et al., 2006a).

Son numerosos los estudios y proyectos cuyo objetivo es la creación de escenarios en relación con la valoración de la sostenibilidad. La sostenibilidad tiene implicaciones muy diversas, por lo que dichos estudios son también muy variados dependiendo del objetivo que se pretende alcanzar. Podemos encontrar estudios globales como “*Energy to 2050, scenarios for a sustainable future*” desarrollado por la International Energy Agency en 2003; el “*Mobility 2030: meeting the challenges to sustainability*” desarrollado en 2004 por el World Business Council for Sustainable Development; o el “*OECD Environmental Outlook*” desarrollado por la OCDE en 2001 con un horizonte en 2020. A nivel europeo podemos encontrar “*Eururalis 2.0*” desarrollado por Alterra Wageningen en 2007 y con horizonte 2030, centrado en la agricultura y biodiversidad; o el “*ATEAM: Advanecen Terrestrial Ecosystem Analysis and Modelling*” desarrollado por el Postdam Institute for Climate Impact Research (PIK) en 2004 con el objetivo de desarrollar escenarios de cambio climático y de biodiversidad para los años 2020, 2050 y 2080. En el apartado 3.3.2 se

realiza una recopilación más detallada de proyectos dedicados a desarrollar escenarios de cambios de usos del suelo futuros.

Parker et al. (2002) comentan que los estudios de simulaciones a medio o largo plazo no pueden estar limitados por la observación y la descripción. El desarrollo de modelos causales puede ayudar a comprender la situación actual y reciente, a la vez que proporciona predicciones plausibles. La longitud en el tiempo durante la cual una predicción es válida depende de la persistencia de los fenómenos observados. Hay estudios que sugieren que la mayoría de los cambios en la cubierta terrestre son constantes entre 10 y 15 años; si bien, cambios políticos, institucionales o económicos pueden provocar rápidos cambios en la tasa o en la dirección del cambio de la cubierta.

Para Brown et al. (2002) este tipo de estudios tienen que representar: a) la cantidad de cambio de uso del suelo que se ha producido, b) la localización de los futuros cambios, y c) los patrones espaciales de esos cambios. En su opinión, son pocos los modelos que tienen como objetivo reproducir los patrones de cambios de usos del suelo y su estudio tiene gran importancia, ya que es la única manera de evaluar las consecuencias de las trayectorias de usos del suelo que se están dando.

Tal y como comenta ESPON (2007, p.7), la comparación de los resultados de diferentes escenarios es un ejercicio pedagógico cuyo objetivo es la identificación de trayectorias positivas y negativas y de los factores explicativos que las ocasionan para poder configurar un futuro más deseable y prevenir futuros no deseables mediante políticas apropiadas.

A la hora de generar escenarios de futuro es importante contestar previamente a cuatro cuestiones: (Alcamo et al., 2006)

- Relevancia: ¿es el escenario relevante para su audiencia?, ¿están consideradas las necesidades particulares de los usuarios?
- Credibilidad: ¿es el escenario plausible para quienes va dirigido y para los planificadores?
- Legitimidad: ¿refleja el escenario los diferentes puntos de vista percibidos por los usuarios o fomenta creencias particulares, valores o agendas?
- Creatividad: ¿provoca el escenario un pensamiento nuevo y creativo?, ¿cuestiona las opiniones actuales sobre el futuro?, ¿informa a su audiencia acerca de las implicaciones de la incertidumbre?

Es necesario distinguir entre proyecciones de cantidad y de localización del cambio. Algunos modelos están centrados en predecir las tasas o cantidades de cambio, mientras que otros ponen más énfasis en los patrones espaciales. Cada vez son más los modelos que tratan de hacer frente a estos dos temas de una manera integrada.

A pesar del número de modelos desarrollados en los últimos tiempos y de su mayor complejidad y sofisticación, éstos siguen reflejando un valor limitado a la hora de simular la complejidad de los factores que se interrelacionan entre sí y que afectan a la evolución territorial (ESPON, 2007)

La figura 3-2 muestra un marco metodológico de análisis para la gestión sostenible de la tierra, que consiste en el estudio de los procesos a diferentes escalas, la valoración de estos procesos mediante diferentes modelos y la visión a futuro de escenarios. Para el desarrollo de este último paso es fundamental, por tanto, el conocimiento sobre qué es lo que sucedió en el pasado y cómo y por qué ocurrió.

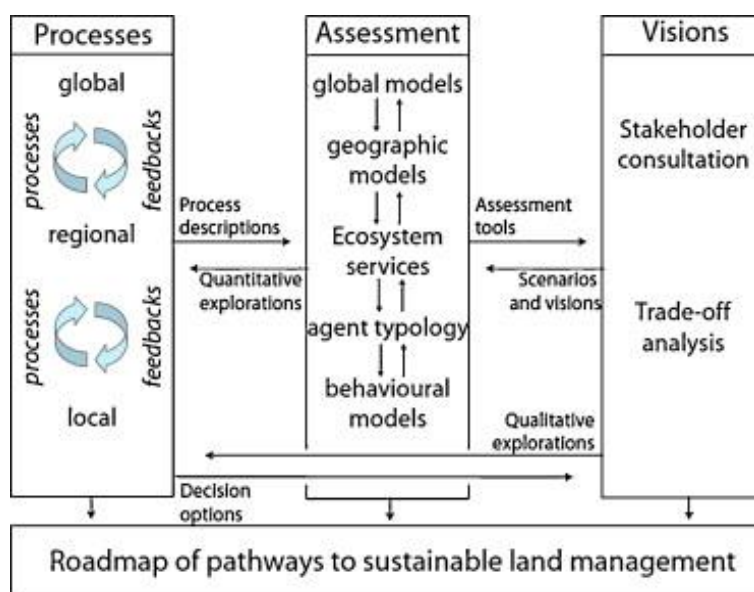


Figura 3-2. Marco metodológico integrado para evaluar los sistemas de la tierra en el pasado, presente y futuro. Fuente: Rounsevell et al. (2012), p. 903.

3.3.2 Estudios previos y su importancia

La elaboración de escenarios a escala global no ha sido muy implementada hasta la fecha y hoy en día no son muy numerosas las proyecciones a futuro de usos del suelo que se han llevado a cabo. Esto es debido a que el estudio de la evolución de los cambios de usos de la tierra a nivel global es limitado, ya que la mayoría de los procesos que influyen en el cambio global son el resultado de las decisiones y cambios que se dan a escala local o regional y que, por tanto, están representados de manera pobre en las evaluaciones a escala global (Verburg et al., 2006b). La mayoría de estos escenarios muestran los cambios que se han producido y se producirán en los usos agrícolas, ya que éstos han sido los usos más dinámicos, seguidos de los escenarios forestales que son, en gran medida, un reflejo de los escenarios agrícolas.

Los escenarios a escala regional y local son más variados y más numerosos que los globales; esta diferencia, según Alcamo et al. (2006) está causada principalmente por la gama, mucho más amplia, de cuestiones locacionales específicas que están siendo abordadas y de factores locacionales específicos que determinan los usos y cubiertas del suelo.

Escasos o muy escasos son, sin embargo, las simulaciones realizadas a diferentes escalas espaciales, integrando, por ejemplo, la escala europea con la nacional, o la escala nacional con la local. Esto tiene un gran interés, ya que, por ejemplo, los escenarios locales o a nivel de paisaje son adecuados para hacer frente a las condiciones específicas de un área de estudio determinada, pero a menudo no abordan un contexto regional más amplio y son incapaces de dar cuenta de los procesos a escalas más groseras (Verburg et al., 2006b,c). Un ejemplo de este tipo de estudios puede verse en el artículo de Verburg et al. (2006c) donde realizan conjuntamente cuatro escenarios diferentes a escala de la UE y a escala nacional.

Los objetivos de unos y otros son similares, pero sin embargo, los estudios globales tienden a centrarse únicamente en producir escenarios, mientras que los estudios regionales, normalmente, se concentran en desarrollar herramientas que sirvan como apoyo en la toma de decisiones. Además, la cuestión básica que desean abordar también es diferente: los escenarios globales tienden a responder cuánto uso del suelo cambiará, mientras que los escenarios regionales y locales tienden a responder también dónde tendrá lugar el cambio. Otra diferencia que puede observarse se da en la escala temporal; mientras que las simulaciones globales o continentales se llevan a cabo a largo plazo (normalmente a partir del año 2050 e incluso a partir del 2100 en adelante), los escenarios regionales y locales se realizan a corto plazo (la mayoría entre los años 2020 y 2050).

Un ejemplo de escenarios globales, además de los nombrados en el apartado 3.2.2, son los pertenecientes al GEO (Global Environment Outlook), dentro del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP). Tras cuatro documentos realizados desde 1997, hoy en día se continúa con la labor llevada a cabo por el Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) y el Global Scenarios Group¹⁷ y han desarrollado cuatro escenarios plausibles (mercados, políticas, seguridad y sostenibilidad) para los años 2032 y 2050.

En el ámbito europeo y a nivel continental, podemos encontrar más proyectos, algunos de los cuales han sido nombrados previamente en el apartado 3.2.2.

Uno de los proyectos más conocidos es el que llevó a cabo ESPON en 2007. Este programa crea tres escenarios diferentes que podrían darse en la Europa de 2030: un escenario de trayectoria lineal, un escenario de competitividad y un

¹⁷ <http://www.gsg.org/>

escenario de cohesión. Su punto de partida es el año 2000. Para ello utiliza variables demográficas (población total, posible crecimiento demográfico) económicas (tasa de actividad, gasto público), de energía (consumo de energía, precios), transporte (tráfico, inversiones en infraestructuras), de desarrollo rural (política agraria común, producción agrícola), de gobernanza (cooperación) y de cambio climático (temperaturas, emisiones).

Anteriormente, el proyecto SENSOR (Sustainability impact assessment: tools for environmental, social and economic effects of multifunctional land use in European regions¹⁸), desarrollado entre 2004 y 2009, tuvo como objetivo la creación de una herramienta de apoyo para la evaluación de las políticas relacionadas con el uso del suelo en las regiones europeas. Uno de los objetivos específicos fue la creación de escenarios a escala de la UE y con un horizonte temporal en el año 2025 para evaluar los impactos que podrían tener los usos del suelo en la sostenibilidad ambiental, social y económica.

El proyecto EURURALIS¹⁹, creado en el año 2004, tuvo como objetivo analizar los cambios potenciales de usos y cubiertas del suelo en Europa. Se evaluaron cuatro escenarios al año 2030, basados en las *storylines* creadas en el SRES del IPCC, mencionado anteriormente. Utiliza una modificación de la base de datos de CLC.

El proyecto PLUREL²⁰ fue un proyecto de cuatro años de duración, finalizado en 2011 y financiado por la Unión Europea. Su objetivo residía en el conocimiento de las relaciones de los usos del suelo en áreas periurbanas y el desarrollo de estrategias y herramientas de evaluación de la sostenibilidad entre el medio urbano y rural, dando especial importancia a la problemática de la expansión urbana; uno de los objetivos específicos fue la creación de diferentes escenarios y modelos de usos del suelo para las regiones rururbanas europeas.

El proyecto FORESCENE (Development of a forecasting framework and scenarios to support the EU sustainable development strategy²¹) se llevó a cabo entre 2005 y 2008, y tuvo como objetivo desarrollar un marco para la creación de escenarios de sostenibilidad que integrasen diferentes temas ambientales como el agua, el suelo o los recursos. Para ello, se desarrollaron diferentes escenarios para los años 2015 y 2030, los cuales funcionaron como recomendaciones para futuras políticas de desarrollo en relación con la Estrategia de desarrollo sostenible de la UE.

¹⁸ <http://www.ip-sensor.org/>

¹⁹ <http://www.eururalis.eu/>

²⁰ <http://www.plurel.net/>

²¹ <http://www.forescene.net/>

El proyecto PRELUDE (Prospective environmental analysis of land use development in Europe²²) fue creado en el año 2006 y fue llevado a cabo por la Agencia Europea de Medioambiente (EEA). El objetivo era simular cinco posibles escenarios medioambientales que podrían darse en el año 2035 a escala europea (25 países de la UE, más Noruega y Suiza), dependiendo de cambios en los patrones de los usos del suelo, el cambio climático, la agricultura o la demografía, obteniendo así una visión de los impactos que pueden darse a largo plazo. Los escenarios se llevaron a cabo de manera participativa, integrando a planificadores, investigadores, representantes de organizaciones de interés y actores independientes (EEA, 2007b).

El proyecto MOLAND (Monitoring land use / cover dynamics²³), llevado a cabo por el Joint Research Centre (JRC) de la UE, tiene como objetivo la cuantificación del desarrollo urbano y regional, mediante el análisis de la tendencia histórica entre los años 1950 y 2000, y la creación de un escenario de transformación del territorio como consecuencia de las políticas de desarrollo. Han elaborado una base de datos que incluye la creación de un sistema de información geográfica de detalle y cartografía de cubiertas y usos del suelo y de redes de transporte. Para explorar la trayectoria de los sistemas urbanos, han elaborado una herramienta específica que permite la creación de escenarios; ésta admite trabajar a nivel global, regional (representando a NUTS2, NUTS3 o NUTS4) o local, y utilizan para ello autómatas celulares (Engelen et al., 2007). En España, la única área de estudio dentro de este proyecto es Bilbao.

El proyecto VOLANTE (Visions of land use transitions in Europe²⁴) tiene como objetivo desarrollar un nuevo paradigma en cuanto a la gestión de la tierra en Europa, mediante la creación de una plataforma donde los responsables políticos puedan desarrollar diferentes políticas de OT en cuanto a los usos del suelo futuros en Europa y observar qué consecuencias tienen en cuanto al abastecimiento de servicios y de servicios del ecosistema. Está desarrollando modelos integrados para analizar las interacciones hombre-naturaleza e identificar umbrales críticos en la dinámica de los sistemas terrestres, desde una perspectiva espacial de “abajo a arriba”.

En España, podemos destacar los proyectos citados anteriormente de SIMURBAN1 y SIMURBAN2, o el proyecto DUSPANAC, cuyo objetivo es la modelización de las dinámicas de usos del suelo en la red de Parques Nacionales Españoles, mediante la creación de diferentes escenarios a futuro, de manera participativa y basados en diferentes condiciones ambientales y restricciones socio-políticas.

²² <http://www.eea.europa.eu/multimedia/interactive/prelude-scenarios/prelude>

²³ <http://moland.jrc.it/index.htm>

²⁴ <http://www.volante-project.eu/>

3.3.3. Métodos y modelos de simulación a futuro.

Se pueden definir diferentes escenarios de futuro, dependiendo de las trayectorias de futuro que podrían darse o dependiendo de las estrategias de planificación que se desean implementar. La escala espacial de trabajo así como los factores explicativos juegan un papel fundamental en el desarrollo y resultado de aquéllos.

Como se ha detallado previamente, en una primera etapa de construcción del modelo de simulación, los componentes del sistema y sus interrelaciones tienen que ser identificados.

Los escenarios pueden ser cualitativos y/o cuantitativos. Los primeros describen posibles futuros en forma de palabras en lugar de números; pueden tomar la forma de imágenes, diagramas, frases o esquemas, pero lo más frecuente es que se compongan de textos narrativos, comúnmente llamados “*storylines*”; estos *storylines* pueden representar opiniones y visiones de las partes interesadas y de los expertos al mismo tiempo, desarrollándose a través de un enfoque participativo, donde ambos trabajan juntos en el desarrollo de los escenarios. La importancia de los escenarios participativos reside tanto en informar de la toma de decisiones como en el aprendizaje común y en la creación de redes. Los escenarios cuantitativos, sin embargo, suelen ser llevados a cabo mediante modelos informáticos y proporcionan información numérica en forma de tablas, gráficos y mapas (Alcamo et al., 2006). El enfoque actual es utilizar una combinación de ambos.

A continuación, se recopilan diversos estudios de simulaciones de usos del suelo, con diferentes objetivos, y que trabajan con diferentes modelos y a diferentes escalas espaciales.

Dependiendo del fin que se desea alcanzar mediante la creación de escenarios futuros, dependerá la escala espacial y temporal a utilizar, la tipología de usos del suelo a escoger, la metodología y las variables explicativas, etc. La disponibilidad de datos de partida es, en ocasiones, quien determina también que un estudio pueda llevarse a cabo o no.

Numerosas investigaciones de simulaciones de cambios de usos del suelo se centran en temas de deforestación, en relación con la expansión de la agricultura o de los pastizales, principalmente en países de América Latina (Kok et al., 2001; De Barros et al., 2005; Gómez-Mendoza et al., 2006; McDonald y Urban, 2006; Wassenaar et al., 2007; Walsh et al., 2008; Sangermano et al., 2012). A su vez, el abandono de las tierras agrícolas también es de interés (Rounsevell et al., 2003; Rickebusch et al., 2007; de Aranzabal et al., 2008) así como el crecimiento y la dispersión urbana (Loibl et al., 2007; Conway, 2009; Plata Rocha et al., 2010; Jokar et al., 2013). La conservación de la biodiversidad es otro de los objetivos recurrentes, en

especial, los efectos que los cambios de usos del suelo pueden tener en el hábitat de las especies animales y/o vegetales (Hazen y Berry, 1997; Haddock et al., 2007), sus efectos en el ciclo hidrológico o en la erosión (Chen et al., 2003; Verbunt et al., 2005; Henríquez et al., 2006; Bormann et al., 2007; Lesschen et al., 2007) o en los servicios del ecosistema (Rounsevell et al., 2006; Verburg et al., 2009). En relación con esto, un gran número de estudios de escenarios también se centran en métricas del paisaje, con el objetivo de valorar cómo pueden influir los cambios de usos del suelo en índices como la fragmentación, la conectividad, la diversidad, etc. (Hazen y Berry, 1997; Münier et al., 2004; De Barros et al., 2005; Rae et al., 2007; Yue et al., 2007; EEA, 2011).

Como se ha visto previamente, los estudios de escenarios comprenden desde escalas globales a escalas locales, si bien, los primeros son los más escasos en cuanto a número. A nivel de continente o región, entendida ésta como una escala que comprende varios países, destacan los desarrollados en Europa o a escala de la UE (Busch, 2006; Ewert et al., 2005; Rounsevell et al., 2006; Westhoek et al., 2006); muchos de estos escenarios a escala de la UE están basados en el IPCC y las *storylines* que utilizan son las desarrolladas en el Special Report in Emission Scenarios (SRES).

Al ámbito sudamericano se le ha mostrado también mucha atención, especialmente en temas relacionados con la deforestación o la intensificación de la agricultura (Kok et al., 2001; Wassenaar et al., 2007; Sangermano et al., 2012).

La elaboración de escenarios a nivel local se ha sucedido por toda la superficie de la Tierra: desde América del Norte (Hazen y Berry, 1997; Brown et al., 2002; Pontius et al., 2004a; Gómez-Mendoza et al., 2006; McDonald y Urban, 2006; García-Frapolli et al., 2007; Conway, 2009), a América del Sur (Henríquez et al., 2006; Lima et al., 2011), Europa (Hilferink y Rietveld, 1999; Rounsevell et al., 2003; Tress y Tress, 2003; Münier et al., 2004; Verbunt et al., 2005; Loibl et al., 2007; Vafeidis et al., 2007; Valbuena et al., 2008; Aitkenhead y Aalders, 2009; Koomen et al., 2011) o Asia (Li y Yeh, 2002; Chen et al., 2003).

Mención especial son los estudios de cambios de usos del suelo llevados a cabo a nivel estatal en España (como son los realizados por Prieto et al., 2008; Rodríguez Verdú, 2010; Stellmes et al., 2013) y en diferentes localidades españolas (Ruescas, 2001; Schoorl y Veldkamp, 2001; Paegelow et al., 2002; Paegelow et al., 2003; Vicente-Serrano et al., 2003; Pérez Campaña et al., 2004; Peña et al., 2005; Lesschen et al., 2007; Otto et al., 2007; Patel et al., 2007; Peña et al., 2007; Aguilera et al., 2008; de Aranzabal et al., 2008; Arnáez et al., 2008; Serra et al., 2008). Si bien, son pocos los estudios citados anteriormente en los que se realizan simulaciones de escenarios a futuro.

Específicamente, en la Comunidad de Madrid, también han sido llevados a cabo un amplio número de estudios de cambios de usos del suelo (Zárate et al., 1998; Gulinck et al., 2001; Gago García et al., 2004; Romero-Calcerrada y Perry, 2004; Angnes, 2005; Serrano Cambronero et al., 2006; Gómez Jiménez et al., 2007; Barrios et al., 2008; Naredo y García Zaldivar, 2008; Novillo et al., 2008; Millington et al., 2009; Hewitt y Hernández-Jiménez, 2010; Pérez-Hugalde, et al 2011; Schmitz et al., 2012) y, en menor medida, de escenarios a futuro. Estos últimos, al estar realizados en el ámbito espacial que se estudia en este trabajo, se presentan con más detalle a continuación:

Sastre et al. (2002) estudian el efecto que puede tener el desarrollo urbanístico en la CM sobre la conectividad de la Red Natura 2000, mediante la creación de de tres escenarios hipotéticos diferentes.

Aguilera Benavente et al. (2009) presentan un modelo basado en dinámicas de sistemas para estimar las demandas de nuevo suelo urbano en ámbitos metropolitanos: la Región Urbana de Madrid y la Aglomeración Urbana de Granada. El modelo genera valores de demanda de ocupación del suelo, bajo tres escenarios diferentes (tendencial, crisis e innovación y sostenibilidad). No simulan, sin embargo, la posible localización de los cambios de usos de cada escenario.

Plata Rocha et al. (2010) generan modelos de crecimiento urbano óptimos basados en técnicas de EMC y SIG para simular la localización óptima de zonas residenciales, comerciales e industriales en la CM para el año 2000 y 2020.

Ruiz Benito et al. (2010) realizan un estudio de cambios de usos del suelo utilizando CLC 90 y CLC 00 en la CM, diferenciando entre áreas protegidas y áreas no protegidas, y dentro de las áreas protegidas, entre los diferentes niveles de protección. Crean un escenario a futuro para el año 2130 utilizando únicamente modelos Markov, por lo que el escenario se basa solo en simular la cantidad y no en la localización de los futuros cambios.

Pascual et al. (2011) presentan un estudio comparativo en la CM utilizando también CLC 90 y CLC 00, empleando diferentes métricas del paisaje. Mediante autómatas celulares y EMC simulan el crecimiento urbano al año 2000 y lo comparan con los datos reales de ese año.

Hewitt y Escobar (2011) crean un escenario de trayectoria lineal para el año 2025 sobre un área específica de la CM, lo que ellos llaman el Área de Guadarrama, correspondiente a 19 municipios colindantes con el río Guadarrama.

3.3.4. Calibración y validación de los modelos a futuro.

La calibración es el proceso consistente en estimar y ajustar los valores de los parámetros de los modelos para mejorar el acuerdo entre los datos y el modelo y, por tanto, la bondad de ajuste del modelo (van Vliet, 2009; Pontius et al., 2004a). Requiere de la definición de un periodo temporal de entrenamiento que incluya una serie cronológica de mapas relativos a las dinámicas que vayan a ser modelizadas y el conjunto de variables explicativas de la misma (Paegelow y Camacho, 2010). Los modelos son calibrados, normalmente, utilizando mapas de cambios observados (Brown et al., 2002).

La validación es la evaluación de la bondad de ajuste con el objetivo de conocer la calidad de los parámetros utilizados (van Vliet, 2009). Es la demostración de que el modelo, dentro de su dominio de aplicación, posee una precisión coherente con su aplicación (Pontius et al., 2004a). Normalmente, la validación de los modelos de cambios de usos del suelo están basadas en la comparación de los resultados del modelo para un periodo histórico con los cambios actuales que han ocurrido (Verburg et al., 2004d).

Esencialmente, la calibración y la validación son procesos iterativos que finalizan cuando la calibración se determina como suficientemente buena (van Vliet, 2009). Están fundamentados en enfoques basados en prueba y error, hasta encontrar una bondad de ajuste del modelo óptima.

Aunque el periodo entre datos de dos fechas temporales diferentes podría ser suficiente para comparar las dinámicas observadas con las simuladas, son muchos los autores que comentan que, al menos, se deben contar con tres fechas cartografiadas, con el fin de utilizar dos fechas para la calibración y una fecha, como mínimo, para la validación (Pontius et al., 2004a; van Vliet, 2009; Paegelow y Camacho, 2010; van Vliet et al., 2011).

Para Kok et al. (2001), una buena validación no solo requiere de unos datos independientes, sino que debe ser precedida por una calibración del modelo, la cual, como se ha indicado, necesita también datos adicionales para llevarse a cabo. Es por ello que la cartografía utilizada en la validación no debe ser conocida por el modelo para confirmar la bondad del mismo, aunque algunos trabajos, como por ejemplo, Brown et al. (2002), Verburg et al. (2002) o Aguilera et al. (2008) utilizan los mismos datos para el proceso de calibración y para la validación.

Por otra parte, todos los modelos deberían llevar a cabo una validación que diferencie entre el rendimiento del modelo en cuanto a la cantidad de cambio y a la calidad de la asignación espacial (Verburg et al., 2004d).

El mejor método de evaluación de los resultados de la simulación es la inspección visual. Sin embargo, este método es altamente subjetivo y no es

reproducibles, por lo que se han desarrollado una multitud de métodos para llevar a cabo dicho objetivo, la mayoría de los cuales comparan el mapa de uso del suelo simulado con mapas de usos del suelo actuales (Li y Yeh, 2002; van Vliet et al., 2011).

A pesar de la variedad de técnicas que han aparecido, la validación de los modelos de usos del suelo está ausente en muchas ocasiones (Kok et al., 2001; Verburg et al., 2004d) y no existe una metodología general y consensuada a utilizar.

Los modelos de cambios de usos del suelo son calibrados, normalmente, para simular cambios de usos históricos ya conocidos. Este procedimiento puede realizarse mediante la comparación de dos mapas de usos del suelo: teniendo un mapa del periodo inicial (T0) y otro del final de dicho periodo (T1), se realiza una simulación a T1; el mapa simulado al final de periodo de calibración puede ser entonces comparado con el mapa actual de uso del suelo T1. Como se ha dicho previamente, para realizar la validación, se requiere al menos de un tercer mapa en tiempo T2 que no se haya usado en el procedimiento de calibración. El resultado de la simulación a T2 puede ser entonces comparado con el mapa de uso del suelo actual a T2. En este caso, la calibración y la validación comprenden la misma actividad, ya que el resultado del modelo de simulación es comparado con un mapa de uso del suelo actual para la misma fecha (van Vliet et al., 2011).

Dado que los mapas utilizados para los estudios de cambios de usos del suelo y de simulaciones utilizan el formato ráster, la calibración y también la validación, suele estar basada en una comparación píxel a píxel. Dicha comparación puede ser realizada mediante una tabla de contingencia o matriz de confusión; éste es uno de los métodos más utilizados. A partir de esta tabla se pueden extraer múltiples estadísticas, como el coeficiente Kappa.

Kappa es un estadístico que se utiliza en análisis multivariantes discretos y expresa el acuerdo entre dos conjuntos de datos categóricos. Indica el acuerdo observado entre estos conjuntos de datos con respecto al acuerdo esperado debido al azar. Los valores de este coeficiente comprenden desde 1, el cual indica un perfecto ajuste, a -1, indicando que no existe ningún ajuste; el valor 0 representa un ajuste igual al ajuste que se obtendría por azar. Pontius (2000) indica que los valores Kappa por debajo de 1 pueden ser causados por dos tipos de disimilitud: 1) disimilitud causada por la cantidad de cambio de las clases de usos del suelo; y 2) disimilitud causada por la localización de los usos del suelo en un mapa.

La idea está basada en que las diferencias en la localización se miden en relación con el máximo acuerdo que se puede obtener, dada la presencia total de categorías en los dos mapas; por otra parte, las diferencias en la cantidad son independientes de la distribución espacial de las categorías en el mapa y

pueden ser calculadas sobre la base de los histogramas de los dos mapas (Hagen-Zanker, 2006). Van Vliet (2009) citando a Hagen (2002), define estos dos componentes de Kappa como KHistogram y KLocation. El estadístico KHistogram nos proporciona valores comprendidos entre 0 y 1, donde el 1 indica un perfecto acuerdo y 0 indica que no hay ningún acuerdo en el tamaño de las clases; este estadístico no puede ser negativo. KLocation, sin embargo, tiene un rango desde -1 a 1, donde 0 indica un acuerdo que puede ser esperado por azar, y 1 indica una asignación que es tan alta como sea posible dada la localización de las clases.

Así, obteniendo una tabla de contingencia como la que se muestra en la tabla 3-2, pueden ser sustraídos los valores de acuerdo a la fracción observada, P_o , y a la fracción esperada, P_e , sujeta a la distribución del tamaño de las clases, y la fracción máxima de acuerdo, P_{Max} , también sujeta a la distribución del tamaño de las clases. Donde P_o es el sumatorio de P_{ij} , P_e es el sumatorio de $(P_{i+} \times P_{+j})$, y P_{Max} , es sumatorio del $\min(p_{i+}, p_{+j})$

		Map B categories				Total map A
		1	2	...	n	
Map A categories	1	P_{11}	P_{12}	...	P_{1n}	P_{1+}
	2	P_{21}	P_{22}	...	P_{2n}	P_{2+}

	n	P_{n1}	P_{n2}	...	P_{nn}	P_{n+}
Total map B		P_{+1}	P_{+2}	...	P_{+n}	1

Tabla 3-2. Tabla de contingencia genérica. Fuente: Van Vliet (2009)

Con estos datos, se pueden obtener los diferentes coeficientes kappa nombrados anteriormente:

$$Kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

$$KHistogram = \frac{P_{Max} - P_e}{1 - P_e}$$

$$KLocation = \frac{P_o - P_e}{P_{Max} - P_e}$$

Para Hagen (2003), el valor esperado de similitud entre dos mapas puede estar fuertemente condicionado por el número de categorías en un mapa y también por la distribución numérica de las celdas sobre dichas categorías. El estadístico Fuzzy Kappa es similar al estadístico Kappa, pero es capaz de considerar la desviación espacial del cambio de uso del suelo mediante una función de pertenencia difusa, considerando un gradiente de menor a mayor

desviación, utilizándose, para ello, una función exponencial de distancia y un factor de vecindad (Loibl et al., 2007). Así, el resultado de la comparación de dos mapas, en formato ráster, mediante este método, es otro mapa donde se especifica, para cada píxel, el grado de similitud en una escala de 0 (total desacuerdo) a 1 (mapas idénticos). Está basado en la noción de que la representación *fuzzy* de una celda depende de la celda misma y, en menor medida, de las celdas que se encuentran en su vecindad. Este estadístico permite calcular la omisión (si desaparece) y la comisión (si aparece) de cada categoría y permite obtener un valor *fuzzy* en cuanto a la localización también (Hagen-Zanker, 2006).

Otro método de medición de la bondad de ajuste es el propuesto por Costanza (1989), el cual plantea un procedimiento de resolución múltiple, ya que considera que la medición a una sola resolución no es suficiente para describir patrones complejos. El método consiste en una ventana de expansión que mide el ajuste de los cambios a diferentes resoluciones espaciales mediante el incremento del tamaño de dicha ventana de muestreo. El ajuste para cada ventana de muestreo es estimado en 1 menos la proporción de píxeles que tendrían que cambiar para que cada una de las ventanas de muestreo tuviese el mismo número de píxeles en cada categoría, independientemente de su disposición espacial.

$$F_w = \sum_{s=1}^{t_w} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^p |a_{1i} - a_{2i}|}{2w^2} \right) / t_w$$

F_w representa el ajuste de la ventana de muestreo w , w es el tamaño de uno de los lados del cuadrado de la ventana de muestreo, p es el número de categorías (por ejemplo, las diferentes tipologías de usos del suelo), s es la ventana de muestreo de dimensión w por w que se corre en el programa para un píxel en el tiempo a , y t_w es el número total de ventanas de muestreo en el programa para el tamaño de ventana w .

Para determinar el grado total de ajuste entre dos mapas, la información que se obtiene de la anterior fórmula debe ser resumida. Esto puede ser realizado mediante la ponderación del promedio de los ajustes en cada tamaño de la ventana, permitiendo dar más peso a las ventanas de pequeño tamaño pero sin ignorar por completo los tamaños más grandes. Para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$F_t = \frac{\sum_{w=1}^n F_w e^{-k(w-1)}}{\sum_{w=1}^n e^{-k(w-1)}}$$

Donde, F_t es un promedio ponderado de los ajustes de todos los tamaños de las ventana, F_w es el ajuste de las ventanas de muestreo de dimensión lineal w , k es una constante, y w es el tamaño de uno de los lados de la ventana cuadrada de muestreo. El valor de k determina qué peso se le da a las

ventanas de muestreo pequeñas en comparación con las grandes; el valor por defecto es $k = 0,01$.

La validación a múltiples escalas es importante también porque permite observar si el modelo está realizando, con suficiente precisión, simulaciones a una resolución que es relevante para el propósito del modelo (Verburg et al., 2006a).

Kok et al. (2001) expresan su conformidad a la utilización también de un método de calibración o validación multi-escalar, ya que los procesos y las relaciones de cambio dependen de la escala temporal y espacial a la que son observados. Asimismo, Kuzera y Pontius (2008) proponen una comparación de mapas a múltiple resolución espacial, no solo como medida para la validación sino también para detectar patrones que tal vez no puedan ser medidos a una única resolución o para observar las variaciones en cuanto a los errores de registro o de clasificación. Se basa en la comparación de píxeles, de tamaños diferentes, pero clasificados de forma suave (soft-classification).

La importancia radica en los resultados obtenidos por Chen y Pontius (2011), los cuales realizan un estudio para evaluar la influencia de la resolución del píxel y de la precisión de la variable independiente, llegando a la conclusión de que el error en la predicción, debido tanto a la cantidad como a la localización, disminuye cuando la resolución del píxel aumenta (figura 3-3).

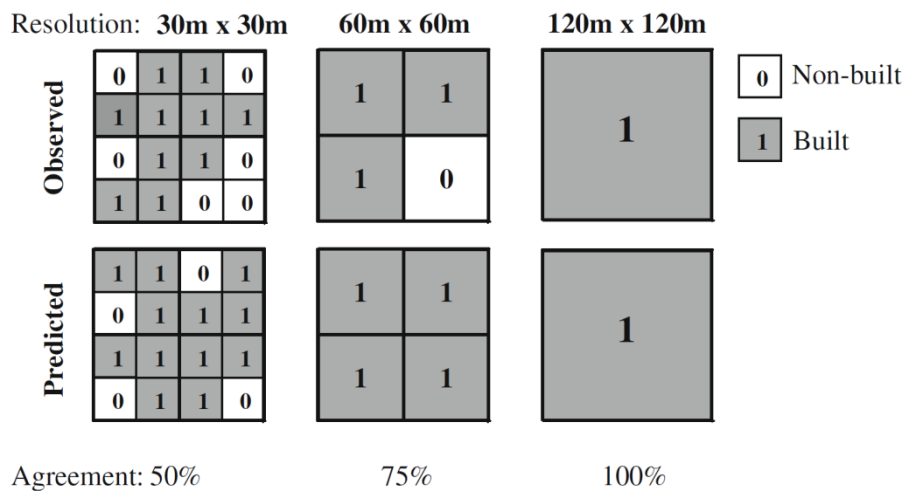


Figura 3-3. Ejemplo que ilustra cómo el acuerdo entre el patrón observado y el predicho tiende a aumentar cuando el tamaño del píxel aumenta. Fuente: Chen y Pontius, (2011), p. 40.

Otra medida de ajuste del modelo que puede ser obtenida a partir de una tabla de contingencia es el *relative operating characteristic* (ROC). Este estadístico sirve para comparar únicamente dos tipos de usos del suelo; si se tienen más de dos, se debe crear una medida ROC para cada uno de los usos del suelo, por lo que cada categoría tendría su propio ROC. Permite diferenciar entre cambio y no cambio: se compara el cambio y la persistencia actual, con el

cambio y la persistencia simulada. Un valor por encima del 50% significa que el modelo obtenido es mejor que el realizado por azar. La debilidad de este estadístico es que no contiene información acerca de la localización y, es por ello, que debe ir acompañado de otro tipo de medidas de precisión, como las señaladas anteriormente (Pontius y Schneider, 2001).

Como se ha visto, muchos análisis estadísticos usados para medir la precisión del modelo utilizan la persistencia. Hay que tener en cuenta que durante el período de tiempo en el cual se realizan las simulaciones, la mayor parte del uso del suelo a analizar no cambia; esto conlleva a que, en áreas donde existe una gran proporción de usos del suelo que permanecen estables, al comparar la similitud entre el mapa simulado a fecha T1 y el mapa actual de usos del suelo de fecha T1, el resultado de la calibración y/o validación tenga un valor alto, independientemente de la precisión en los cambios simulados. Así, la concordancia entre el uso del suelo actual y el suelo de uso simulado puede no deberse a la precisión de los cambios simulados, ya que un valor alto no tiene porqué indicar un modelo preciso (Rindfuss et al., 2004; van Vliet, 2009; van Vliet et al., 2011). De hecho, un modelo en el que el 90% de los usos del suelo se mantienen estables, tendrá un valor de ajuste mayor que un modelo en el que los usos del suelo estables representan el 60%, a pesar de que este último pueda simular los cambios mejor que el primero.

Es por ello que, para evaluar los resultados de la simulación, Pontius et al. (2008) crean la figura de mérito o *figure of merit*. Este estadístico evalúa la exactitud de los cambios de usos del suelo, en lugar de usar los usos del suelo en sí. En concreto, mide la proporción de la intersección de los cambios observados y el cambio predicho con la unión del cambio observado y el cambio predicho; es decir:

$$Figure\ of\ merit = B / (A + B + C + D)$$

donde A es el error debido a que el cambio observado ha sido predicho como persistencia; B es el acierto, es decir, el cambio observado ha sido predicho como cambio; C es el error debido a que el cambio predicho ha sido predicho como cambio pero en otra categoría de uso del suelo; y D es el error relacionado con que la persistencia observada ha sido predicha como cambio.

El valor obtenido puede ir desde el 0%, significando que no hay solapamiento entre el cambio observado y el predicho, al 100%, donde hay un perfecto solapamiento entre el observado y el predicho.

Para van Vliet (2009) este estadístico sigue favoreciendo los estudios donde se producen menos cambios en el territorio. Así, este autor propone el uso del estadístico Ksimulation. Éste expresa la exactitud del resultado de la simulación de acuerdo con la exactitud que puede esperarse dada la cantidad de cambio

de uso del suelo en la simulación y en la realidad. Siguiendo el ejemplo de la tabla de contingencia anterior (tabla 3-2), se puede decir que:

$$P(E)_{simulation} = \sum_{j=1}^n P_j^O \times \sum_{i=1}^n P(i^A | j^O) \times P(i^B | j^O)$$

donde, para el resultado de la simulación (A) así como el del uso del suelo actual (B), y la fracción de píxeles que tiene el uso del suelo i , nos dice que el uso del suelo j en el mapa inicial (O) puede ser expresado como $P(i^A | j^O)$ y $P(i^B | j^O)$, respectivamente. Como el uso del suelo original (O) es igual para los dos mapas, la similitud esperada entre el resultado de simulación (mapaA) y el actual uso del suelo (mapaB) es una función de ambos.

Los estadísticos KTransition y KTransloc que desarrollan van Vliet et al. (2011) expresan el acuerdo en las transiciones de usos del suelo en cuanto a la cantidad y en cuanto a la localización, respectivamente. Siguiendo las ecuaciones anteriores:

$$KTransition = \frac{PMax(Transition) - Pe(Transition)}{1 - Pe(Transition)}$$

$$KTransloc = \frac{Po - Pe(Transition)}{PMax(Transition) - Pe(Transition)}$$

El rango de valores de estos estadísticos se puede igualar a los comentados anteriormente con KLocation y KHistogram, respectivamente.

Dado que toma como base solo el cambio, los valores de Ksimulation (que se encuentran comprendidos entre -1 y 1 y tienen el mismo significado que los valores de Kappa) suelen ser mucho más bajos que los obtenidos con los estadísticos Kappa vistos anteriormente. Estos autores, de hecho, ilustran su método realizando tres simulaciones diferentes utilizando una clasificación agregada de CLC, y obtienen valores de Kappa, KLocation y KHistogram que superan el 0,96, mientras que con Ksimulation, KTransition y KTransloc el valor más alto no supera el 0,71.

Ksimulation puede ser utilizado para calibrar o validar el modelo ya que indica cuál es la precisión de un modelo para explicar los cambios de usos del suelo y, mediante KTransition y KTransloc, podemos saber cuál es la naturaleza de los errores obtenidos en el resultado de la simulación (van Vliet et al., 2011).

Otra técnica para valorar la precisión del modelo obtenido es mediante su comparación con un *null model* o con un *random model*. Para Rindfuss et al. (2004) ésta es la mejor manera para manejar datos con altos valores de persistencia.

El *null model* es un modelo simple que asume la completa persistencia de los usos del suelo en el tiempo; la precisión de éste viene determinada por el

porcentaje de acuerdo entre el mapa de referencia del año inicial y del mapa de referencia de la segunda fecha (Castella y Verburg, 2007). Esta comparación puede realizarse a la escala trabajada o a múltiples resoluciones, como realizan Castella y Verburg (2007). Puede darse que el porcentaje correcto de un modelo de usos del suelo predictivo esté por debajo del *null model* en resoluciones de detalle, lo cual señala que el modelo predictivo no es capaz de predecir correctamente a esa resolución de detalle de los datos; pero cuanto más grosera sea la resolución, la capacidad del modelo con respecto al *null model* debería aumentar (Pontius et al., 2004a).

Otras medidas, como las métricas del paisaje, son utilizadas también para valorar los resultados de la simulación como medida de validación (Hazen y Berry, 1997; Münier et al., 2004; De Barros et al., 2005; Rae et al., 2007; Yue et al., 2007; Aguilera et al., 2008; Pascual et al., 2011).

Para Pontius et al. (2004a), un modelo no puede ser validado solo mediante una técnica que nos diga el ajuste, como puede ser el porcentaje de acierto, ya que fallaría en la obtención de información acerca de cómo mejorar el modelo y la obtención de diferentes fuentes de errores.

La tabla 3-3 muestra un ejemplo de los diferentes métodos que utilizan varios autores para calibrar y/o validar sus modelos.

Como puede observarse, no existe un acuerdo en cuanto a la validación de los modelos de cambios de usos del suelo y a las técnicas que deben ser utilizadas o implementadas para ello.

Kappa se ha utilizado como un estándar en la validación, sin embargo, recientemente, Pontius y Millones (2011) recomiendan abandonar los índices Kappa para propósitos de evaluación de la precisión, y utilizar dos indicadores como son el desacuerdo en la cantidad y el desacuerdo en la asignación/localización.

Este método también realiza una comparación píxel a píxel desde una matriz de tabulación cruzada referida anteriormente. El desacuerdo en cuanto a la cantidad es definido como la diferencia entre el mapa de referencia y el mapa de comparación que es menor a la coincidencia perfecta en las proporciones de las categorías; el desacuerdo en la asignación es la diferencia entre el mapa de referencia y el mapa de comparación, que es menor a la coincidencia óptima en la asignación espacial de las categorías, teniendo en cuenta las proporciones de las categorías de ambos mapas.

Métodos utilizados para revelar la precisión del modelo	Autores
Kappa	van Vliet et al., 2011 Conway, 2009 Aguilera et al., 2008 Rutherford et al., 2008 Rickebusch et al., 2007 Loibl et al., 2007 Hagen, 2002 Pontius, 2000
Fuzzy kappa	van Vliet et al., 2011 Loibl et al., 2007 Hagen-Zanker, 2006 Hagen, 2003
Ksimulation	van Vliet et al., 2011 van Vliet, 2009
ROC	Jokar et al., 2013 Lima et al., 2011 Conway, 2009 Rutherford et al., 2008 Serra et al., 2008 Rickebusch et al., 2007 Verburg et al., 2004a,b,c
Multi-escalar	Kuzera y Pontius, 2008 Castella y Verburg, 2007 Kok et al., 2001 Verburg et al., 1999a
Comparación visual	Aguilera et al., 2008 Paegelow et al., 2003 Brown et al., 2002 Li y Yeh, 2002 Hazen y Berry, 1997
Utilización de <i>Null Model</i>	Castella y Verburg, 2007 Pontius et al., 2004a Rindfuss et al., 2004
Métricas del paisaje	Pascual et al., 2011 van Vliet et al., 2011 Aguilera et al., 2008 Rae et al., 2007 Yue et al., 2007 De Barros et al., 2005 Münier et al., 2004 Hazen y Berry, 1997

Tabla 3-3. Ejemplo de metodologías utilizadas para calibrar y/o validar los modelos y autores que utilizan dichos métodos. La obtención de la mayoría de estos estadísticos requiere de la creación previa de una matriz de confusión.

3.4 SOBRE LOS ERRORES EN LA CARTOGRAFÍA Y SU IMPLICACIÓN EN LOS ANÁLISIS DE USOS DEL SUELO

No es objetivo de esta sección hablar sobre la fiabilidad y la precisión de la cartografía inicial y/o final que se utiliza en los estudios de cambios de usos del suelo y simulaciones a futuro. Sin embargo, se ha creído interesante hacer un breve apartado sobre los errores que pueden encontrarse en los mapas y cómo pueden ser detectados y corregidos, ya que de su presencia o ausencia dependerá la fiabilidad de los resultados obtenidos.

Tal y como señalan Pontius y Lippitt (2004), los análisis de cambios se realizan, frecuentemente, sin considerar los errores que contienen los mapas de clasificación que se utilizan como entrada en los modelos.

Los errores presentes en la cartografía de entrada generan errores en los análisis y en los resultados de cambios de usos del suelo y, por consiguiente, errores en las simulaciones a futuro, por lo que su detección a priori es fundamental, ya que de lo contrario estaremos obteniendo valores y resultados imprecisos.

Además de la verificación de la calidad de los datos de entrada con los que se cuenta para realizar los modelos de cambios de usos del suelo, es importante, para mejorar dichos modelos, identificar los posibles errores que puede haber en las especificaciones del propio modelo y/o en la localización y en la cuantía de los resultados de éste (Verburg et al., 2006a).

Los errores en la cartografía y/o en los resultados de los análisis de cambios de usos pueden deberse a diferentes causas: distintos fines de las diferentes fuentes que se utilizan, distintas metodologías y técnicas utilizadas en la generación de la información o en la detección de los cambios, distintas escalas espaciales utilizadas, errores en la captación y/o registro de los datos, diferentes criterios en la definición de categorías, etc. También pueden darse errores en el paso de la información de partida vectorial a su conversión en ráster.

Muchos análisis de cambios de usos del suelo se basan en la comparación de dos o más mapas de usos del suelo que han sido derivados de imágenes de satélite. Los errores presentes en los análisis de cambios de usos del suelo realizados mediante clasificación a posteriori pueden atribuirse principalmente a errores de registro en las imágenes o a clasificaciones erróneas, resultado de una asignación errónea de las clases de ocupación del suelo. Por ejemplo, se pueden encontrar errores debido a diferencias en la fenología de los usos del suelo y que espectralmente pueden generar confusión a la hora asignarle una categoría temática, lo que puede conllevar a clasificar una misma zona que no ha cambiado como cambio, ya que entre una fecha y otra se observan diferencias.

La precisión del mapa resultante de cambios de usos del suelo depende directamente de la precisión de los mapas clasificados de entrada, pero también de las interacciones de los errores a través del tiempo (Burnicki et al., 2007; Burnicki et al., 2010).

Así, si utilizamos dos mapas de usos del suelo cuya precisión es del 85%, obtendremos un mapa de cambio con una precisión del 72%; esto es: $0,85 \times 0,85 = 0,72$ (Singh, 1989).

Se pueden distinguir errores en la clasificación, también denominados errores de atributos o errores temáticos, y errores en la localización, también denominados errores espaciales, errores posicionales o errores de registro. Por otra parte, los errores geométricos, así como la precisión de la localización del límite entre dos coberturas, pueden generar una gran cantidad de errores (Mas y Fernández, 2003). Estos errores generan, normalmente, áreas pequeñas de falsos cambios y de forma alargada.

La distribución espacial de los errores suele estar distribuida de manera no aleatoria (Foody, 2002) y son dependientes de la escala espacial a la que se trabaja (Moody y Woodcock, 1994); así, si los datos son convertidos a una escala más grosera, algunos de los errores que figuraban a escala de mayor detalle, desaparecerán.

Los patrones de error que se dan en un mapa de usos del suelo de una fecha concreta están correlacionados con los patrones de error de un mapa de uso del suelo para el mismo área pero en un tiempo posterior (Burnicki et al., 2007, citando a Carmel, 2004); existe, por tanto, una dependencia temporal en los errores.

El uso de bases de datos levantadas con criterios, leyendas y/o escalas distintas, puede generar también cambios que no se ajustan a la realidad (Angnes, 2005). Por ello, es importante examinar los datos de usos del suelo que se poseen e intentar armonizar dichos datos con el objetivo de poder hacer comparaciones entre ellos y poder compilar una serie temporal que permita analizar cambios en las dinámicas y detectar trayectorias (Jansen, 2006).

La realización de una serie de procesos para integrar dichos mapas y evitar errores es fundamental; éstos deben trabajarse previamente mediante procesos de generalización cartográfica, para eliminar así resultados imprecisos o erróneos (Petit y Lambin, 2002). La estandarización de los datos permitirá la comparación directa de las diferentes clases, y la armonización de los datos permitirá que se puedan seguir utilizando dichos datos por países e instituciones, siempre que los sistemas de clasificación estén definidos.

En los últimos años se han desarrollado diferentes métodos para detectar, medir y reducir los errores en los mapas de cambios, muchos de los cuales están relacionados con la validación de éstos.

Así, muchas de las medidas de precisión temática están derivadas de una matriz de confusión. Una de las más populares es el porcentaje de casos correctamente asignados. Un índice muy utilizado también y, obtenido a partir de dicha matriz, es el coeficiente de acuerdo Kappa, el cual se ha adoptado como estándar.

Como se ha visto previamente, la matriz de confusión o error consiste en una tabla que indica las correspondencias entre las clases del producto a evaluar y el de referencia. En la diagonal de la matriz se incluye el número de píxeles correctamente asignados y los campos marginales son los errores de asignación. Normalmente, el producto de referencia proviene de datos de campo, por lo que dicha matriz no suele realizarse para todo el área de estudio, sino únicamente en áreas de muestreo. La relación entre el número de puntos correctamente asignados y el total, expresa la fiabilidad global del mapa. El interés de ésta consiste en plasmar los principales conflictos entre categorías.

Se debe tener en cuenta que la matriz de confusión y las métricas de precisión derivadas de ésta, no proporcionan información de la distribución espacial de los errores (van Oort, 2007).

Petit y Lambin (2001) desarrollan una metodología replicable que permite trabajar con datos de usos o cubiertas del suelo heterogéneos. Para Congalton y Green (1993) son, precisamente los errores que se dan en este tipo de cubiertas, los más difíciles de controlar. Para ello, proponen realizar un proceso de generalización cartográfica, haciendo equivalentes los niveles temáticos y espaciales de los datos. El proceso de generalización se realiza independientemente para cada uno de los mapas y está dividido en diferentes etapas, tal y como muestra la figura 3-4.

La generalización de las leyendas reduce las diferencias en las definiciones y, por tanto, es esperable una mayor exactitud (Moreno y Chuvieco (2009).

Carmel et al. (2001) presentan un modelo de error que se ocupa de detectar de forma conjunta el error en cuanto a la ubicación y en cuanto a la clasificación en datos, bajo la presunción de que, en el proceso de la propagación de errores, los errores de localización preceden a los errores de clasificación. Para ello simulan diferentes incertidumbres utilizando una base de datos multi-temporal y presentando una única matriz que incluye la precisión de ambos factores.

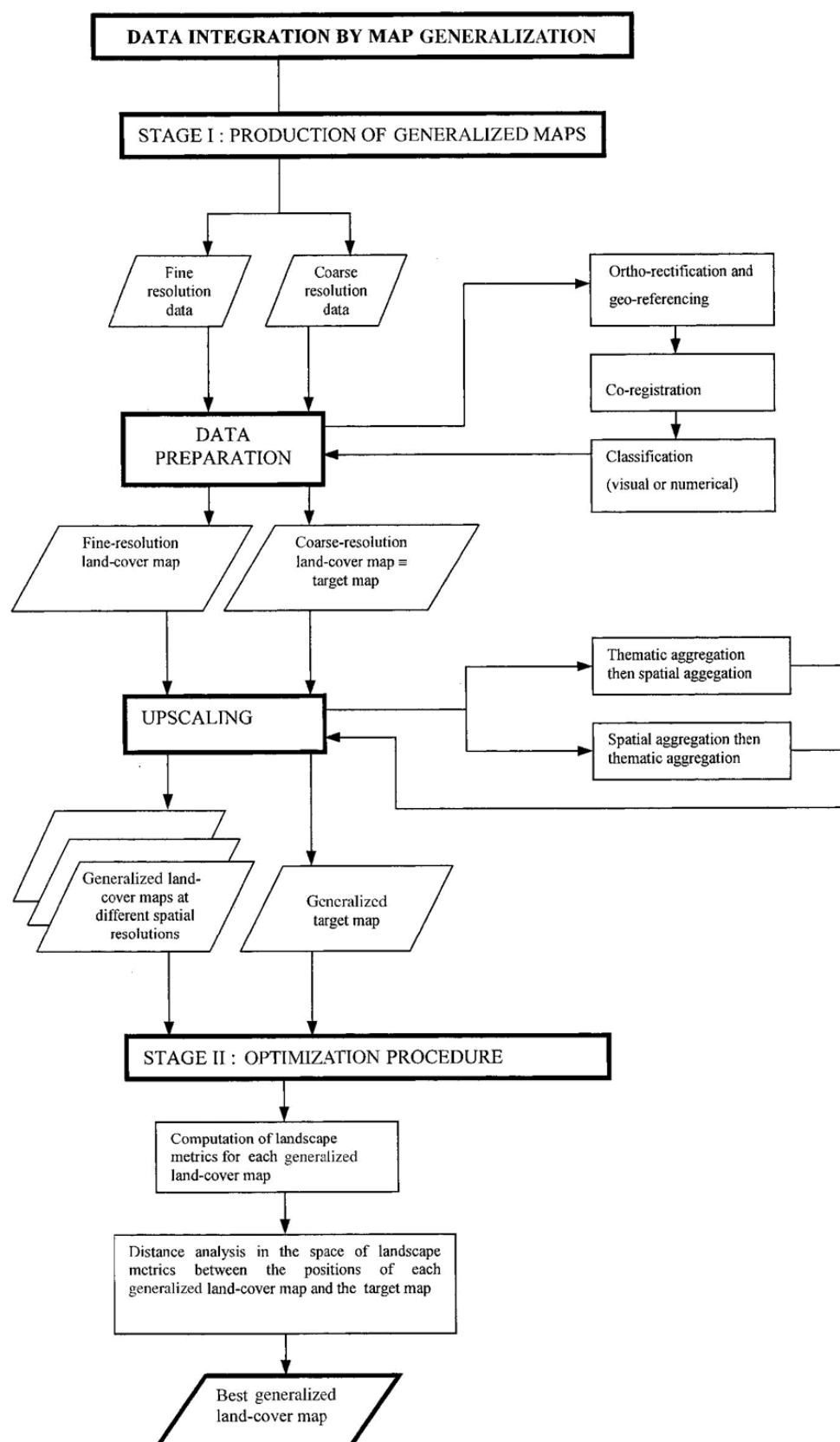


Figura 3-4. Metodología para la integración de datos a realizar antes de la detección de cambios. Fuente: Petit y Lambin (2001), p. 791

Mas y Fernández (2003) evalúan los errores que se producen al comparar mapas representados en escalas distintas, obtenidos a través de procesos de digitalización independientes, con sistemas de clasificación diferentes o en base a insumos de fechas diferentes. Sin realizar una previa generalización cartográfica y/o temática de los datos que utilizan, concluyen que los errores inherentes a la diferencia de escala o a diferentes métodos de captura en la cartografía en formato digital generaron falsos cambios de una amplitud comparable o superior a los cambios reales

Pontius tiene gran experiencia en cuanto a la detección de errores y a los efectos que éstos pueden provocar:

Pontius (2000) realiza una comparación entre los errores debidos a cantidad y los errores debidos a localización en mapas categóricos, tal y como se ha comentado en el apartado de calibración y validación de este capítulo (apartado 3.3.4).

Pontius y Lippitt (2004) describen un método para evaluar la incertidumbre en la medición de los cambios entre categorías de usos o cubiertas del suelo entre dos momentos en el tiempo; para ello hacen uso de tres matrices de tabulación cruzada, donde comparan el porcentaje de cambio observado entre el mapa en tiempo1, realizado por el productor A, y el mapa en tiempo2, realizado por el productor B; la comparación estimada entre el mapa en tiempo1, realizado por el productor A, y el mapa en tiempo2, realizado por el productor B; y la comparación estimada entre el mapa en tiempo2 que el productor A produciría y el mapa en tiempo2 producido por B. Este método sobreestima la proporción de las diferencias entre dos mapas que puede ser atribuida a errores; estos autores comentan que pueden darse también errores que aparecen en la diagonal de dicha matriz de confusión y que están clasificados como persistencia, ya que puede haber píxeles que no han persistido pero que, sin embargo, aparecen como tal.

Aldwaik y Pontius (2012) crean un método para cuantificar los cambios bajo tres niveles de análisis: de intervalo, categóricos y de transición. Examinan así, a) cómo el tamaño y la velocidad del cambio varía en diferentes intervalos en el tiempo; b) cómo el tamaño y la intensidad de las pérdidas brutas y ganancias brutas de cada categoría varía en las categorías en cada intervalo; y c) cómo el tamaño y la intensidad de las transiciones de una categoría varían entre las otras categorías que están disponibles para esa transición; es lo que ellos han llamado, análisis de intensidad, y que será aplicado en el capítulo 5 de este trabajo. Dicha metodología puede ser utilizada también para calcular el tamaño y la naturaleza de errores hipotéticos que pueden darse en los datos.

Otras técnicas desarrolladas por este autor pueden consultarse en los siguientes artículos:

Pontius (2002) mide el acuerdo entre dos mapas categóricos a varias resoluciones mediante la agregación de las celdas vecinas a una rejilla cada más grosera.

Pontius y Li (2010) desarrollan una metodología cuyo objetivo es estimar la probabilidad de transición de cualquier uso del suelo, poseyendo o no las matrices de confusión, y mostrar cómo los posibles errores que pueden darse influyen el total del cambio del uso del suelo, tanto en cantidad como en la distribución.

Burnicki et al. (2007) estudian las consecuencias de la propagación de errores en los análisis de cambios derivados de imágenes de satélites multi-temporales, en cuanto a la clasificación de las categorías de usos del suelo. Para ello, utilizan un algoritmo geoestadístico de simulación y crean un mapa de cambios de uso del suelo real y un conjunto de mapas de cambio en los que se incluyen diferentes perturbaciones de errores. Dichos mapas se componen únicamente de dos categorías de cubiertas del suelo. Posteriormente, los mismos autores desarrollan, en 2010, un estudio similar pero utilizando tres categorías.

Smith et al. (2003) estudian los efectos que pueden tener, en la precisión de la clasificación, el tamaño de la mancha o parche y la heterogeneidad de la cubierta del suelo. Dicho trabajo proporciona información sobre las fuentes de error de clasificación, basándose en la relación entre la precisión de cada uso del suelo y la estructura del paisaje y estudiando el impacto que el cambio de la estructura provoca en la precisión. Concluyen que las probabilidades de una clasificación correcta aumentan con el tamaño del parche y con la disminución de la heterogeneidad; si bien, no todas las clases de usos del suelo que analizan se muestran de la misma manera, algunas muestran mayor sensibilidad a la heterogeneidad, otras al tamaño del parche y otras están fuertemente afectadas por las dos variables.

En esta línea, autores como Rae et al. (2007) tratan de detectar los errores en la cartografía y las implicaciones que éstos pueden tener, no sólo a nivel de píxel, sino utilizando también métricas del paisaje. Otros ejemplos son el de Smith et al. (2003) detallado anteriormente o el de Moreno y Chuvieco (2009), los cuales analizan los errores utilizando el índice de fragmentación del paisaje.

En la evaluación clásica de los errores todas las asignaciones erróneas están igualmente ponderadas; sin embargo, para Foody (2002) unos errores son más importantes que otros. Por ejemplo, en los errores de carácter espacial pueden tener menor importancia los errores que se encuentran en los bordes de las categorías. Este autor propone utilizar, por ello, técnicas de precisión de forma difusa (*fuzzy*).

Además de estas técnicas, en el apartado de la calibración y validación (apartado 3.3.4) se detallaron una serie de métodos, algunos de los cuales, también pueden ser utilizados para la detección de errores.

Por último señalar que hay que tener en cuenta que un mapa es un modelo o una generalización o simplificación de la realidad y, por tanto, contendrá, ya de por sí, errores.

3.5 CONCLUSIONES

Como se ha visto, son numerosos los trabajos y las técnicas que se han desarrollado con el objetivo de elaborar modelos de cambios de usos del suelo y/o de simulaciones a futuro. Su evolución ha estado directamente relacionada con el desarrollo de la teledetección, de los sistemas de información geográfica y de nuevos software que han permitido tanto la captación como el tratamiento de grandes conjuntos de datos.

Se han ido desarrollando modelos cada vez más complejos, tratando de observar los patrones emergentes de los diferentes procesos de cambios de los usos del suelo. Hoy en día, se tiende a una combinación de varias técnicas. Los expertos abogan por la realización de análisis multi-escalares, integrando en la elaboración de los modelos a los diferentes agentes que gobiernan y/o actúan sobre el territorio.

Busch (2006) señala que los modelos de cambios de usos del suelo y simulaciones se han visto comúnmente desde una perspectiva sectorial, centrados en cambios en la agricultura, las áreas forestales o las áreas urbanas separadamente; sin embargo, cada vez más se están haciendo estudios que integran varios usos del suelo juntos.

Por otra parte, se han desarrollado muchos modelos de forma aislada, lo que ha provocado que haya varios modelos que responden a las mismas preguntas y que funcionan de manera similar.

Los modelos de simulaciones de usos del suelo deben hacer frente a la incertidumbre de éstos. Para Rae et al. (2007) esta incertidumbre se produce cuando la diferencia entre la información producida y la realidad se desconoce; mientras que el error se produce cuando hay una diferencia medible entre ambas. La incertidumbre y el error en los modelos van más allá del resultado de dicho modelo. Los datos obtenidos de imágenes de satélites o de fotografías aéreas y que funcionan como datos de entrada, contienen ambos aspectos asociados con el tipo de sensor que utilizan o con el procesamiento de imágenes que se lleva a cabo.

A la hora de realizar la comparación de mapas es importante tener en cuenta la escala espacial. Los resultados pueden ser sensibles a la escala y algunos patrones pueden ser solo evidentes a ciertas resoluciones, por lo que una validación de forma multi-escalar es importante. Chen y Pontius (2011), por ejemplo, realizan un estudio para evaluar la influencia de la resolución del píxel y de la precisión de la variable independiente, llegando a la conclusión de que el error en la predicción, debido tanto a la cantidad como a la localización, disminuye cuando la resolución del píxel aumenta.

La validación es una tarea importante dentro del modelado de los usos del suelo, ya que permite informar a los responsables políticos y a otros usuarios de los resultados del modelo y de las incertidumbres en los resultados de éste.

A continuación se señalan una serie de problemas y retos a los que se enfrenta esta materia.

Problemas:

La definición de las clases de usos del suelo a utilizar tiene un efecto importante en el resultado del modelo, especialmente en modelos que intentan captar el proceso, no solo el cambio. El uso de una sola clase puede derivar en que el modelo no esté bien calibrado, pero por otra parte, tener numerosas clases puede reducir la precisión del modelo debido a la dificultad de capturar procesos que no son comunes (Conway, 2009). Del mismo modo, cuando se posee una única clase de uso del suelo, donde se estudia la presencia y ausencia de éste, y se desea predecir únicamente dicho cambio, el modelo puede generar menos error que si se estudian varias clases de usos del suelo conjuntamente, ya que hay menos posibilidades de que se convierta a una categoría errónea. Si se desea más información sobre este aspecto puede consultarse a Conway (2009), el cual evalúa el impacto de cambiar el número de usos del suelo, desde solo una clase hasta seis tipos de clases diferentes, con el objetivo de ver las diferencias que esto produce en cuanto a la calibración, a reproducir el cambio de uso del suelo actual y para la realización de predicciones futuras.

La resolución a la que se trabaja es un elemento determinante. Rindfuss et al. (2004) señalan que la resolución espacial afecta al tamaño de la parcela que puede ser estudiada; la resolución temporal determina el dinamismo que puede ser observado; la resolución espectral afecta a la discriminación del estado del paisaje y su condición; y la resolución radiométrica controla la precisión entre la separación de tipos de cubiertas del suelo y de usos del suelo. Asimismo, se debe tener en cuenta que la resolución espacial y temporal puede no coincidir con los datos biofísicos y socio-económicos con los que se trabajan.

La gran mayoría de los trabajos que se han elaborado sobre cambios de usos del suelo y simulaciones trabajan a nivel de píxel. Un píxel, debido a su forma,

nunca podrá representar perfectamente las curvaturas de los polígonos y, tal y como comenta Rae et al. (2007), a la hora de convertir la información de vectorial a ráster, una cantidad considerable de información puede ser perdida.

Los modelos están limitados por la disponibilidad de datos. Tal y como señalan Agarwal et al. (2002, p. 28), hay que tener en cuenta que *“cualquier modelo de cambios de usos del suelo está, probablemente, limitado por la persona o personas que lo construyen, de acuerdo con sus límites formativos y el financiamiento que poseen”* y la posibilidad de que haya o se puedan generar datos consistentes de la zona de estudio.

Existe una gran dificultad para desentrañar los diferentes procesos humanos, sociales, económicos, políticos, medioambientales, biofísicos, etc. que inciden sobre un territorio y que desembocan en cambios de usos del suelo, ya que son numerosos y muy variados los factores que entran en juego.

Retos:

Aunque tarea difícil, un consenso internacional en la generación y utilización de una cartografía temática que se llevase a cabo a diferentes escalas espaciales, podría conllevar, también, a la realización de análisis comparativos entre diferentes zonas, regiones o países, de manera multi-escalar.

La realización de una cartografía estándar, como puede ser en Europa, CLC, es muy importante, ya que permite la comparación de las dinámicas de las cubiertas y usos del suelo que se han sucedido en el tiempo y en diferentes ámbitos geográficos, pudiendo hacer comparaciones también entre ellos gracias a la homogeneidad en la leyenda temática. En España, el programa SIOSE permite trabajar a una escala mayor de detalle, siendo su objetivo, al igual que CLC, continuar con la realización de cartografía de cubiertas y usos del suelo en varios momentos en el tiempo para que puedan realizarse estudios temporales y también comparativos. La continuidad de estos trabajos es, por ello, fundamental.

La mayoría de los modelos de usos del suelo que se han llevado a cabo hasta ahora están basados en una única escala espacial. Sin embargo, tal y como proponen Verburg et al. (2004d), se necesita de una nueva generación de modelos de usos del suelo que aborden mejor las características multi-escalares del sistema de la tierra y que logren un mayor nivel de integración entre diferentes enfoques disciplinarios.

Es necesario ampliar y profundizar en la participación de actores en la creación de los escenarios y en el plan de trabajo. El compromiso de los agentes es fundamental para poder llevar a cabo la creación de posibles futuros deseados. Para ello, se debe integrar no solo a políticos o responsables políticos, sino

también a ONGs y empresarios con intereses en los usos del suelo (incluyendo el medio natural).

Por otra parte, existen diferentes estudios donde la validación de los resultados obtenidos del modelo está ausente. Además, no hay unanimidad en la forma o formas en las que ésta tiene que llevarse a cabo. La validación de los modelos debería ser estándar para cualquier modelo y, es por ello, que es importante llegar a un acuerdo sobre qué técnicas o estadísticos utilizar para que diferentes estudios puedan ser también comparados.

Las simulaciones a futuro necesitan ser llevadas a diferentes periodos de tiempo, desde tiempos cortos para el diseño e implementación política, hasta medio y largo plazo para observar los efectos que pueden tener los factores climáticos, sociales, económicos y tecnológicos.

La realización de este tipo de estudios puede enlazarse con otro tipo de trabajos como son los de ecología del paisaje (Turner et al., 2001) o investigaciones que analicen los intercambios y las sinergias en la provisión de servicios del ecosistema. Por ejemplo, Verburg et al. (2004d) comentan que son muy pocos los modelos que estudian las interacciones entre las áreas rurales y urbanas mientras que, en el ámbito europeo, se esperan grandes impactos causados por estas interacciones.

CAPÍTULO 4. FUENTES DE DATOS Y METODOLOGÍA GENERAL DE TRABAJO.

4.1 Introducción

4.2 Fuentes de datos espaciales y temporales

4.3 Metodología general de trabajo

4.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo muestra las fuentes de datos espaciales y temporales utilizadas así como una metodología muy general de trabajo. Para un mayor detalle de las fuentes puede ser consultado el anexo 1. Asimismo, una metodología más pormenorizada de los procesos llevados a cabo en los análisis de cambios de usos del suelo y en los análisis de simulaciones de escenarios futuros puede ser consultada en los capítulos correspondientes a éstos (capítulo 5 y capítulo 6, respectivamente).

La realización de análisis de cambios de usos del suelo para un periodo de tiempo largo requiere de la combinación de diferentes fuentes de información como mapas históricos, fotografías aéreas o imágenes de satélite para la generación de mapas de usos y cubiertas del suelo de diferentes momentos en el tiempo. Esto conlleva a trabajar con datos que no tienen la misma resolución espacial y/o espectral ni el mismo nivel de detalle en la clasificación temática, por lo que son difícilmente comparables entre sí. Tal y como señalan Petit y Lambin (2001), la utilización de datos heterogéneos, sin una previa homogeneización de su contenido temático y espacial, contaminará la detección de los cambios de usos por su imprecisión e inconsistencia, por lo que debe ser realizada una integración previa de éstos mediante el uso de metodologías o herramientas que permitan la combinación de datos espaciales, para obtener así una serie temporal de mapas homogéneos de usos del suelo²⁵.

Del mismo modo, en los análisis de cambios de usos del suelo y en la realización de escenarios futuros se necesita de otro tipo de información de índole muy diversa, además de los datos de usos o cubiertas del suelo. Esta información se presenta, principalmente, en formato cartográfico y, en ocasiones, ha sido generada por diferentes organismos e instituciones, por lo que su formato y escala tampoco es homogéneo. Es por ello que estas fuentes también deben ser homogeneizadas para poder integrarlas en los análisis.

Para ello, se definieron las características espaciales que debían tener todas las fuentes cartográficas en este trabajo.

²⁵ Como mapas homogéneos se refieren a mapas que tienen el mismo nivel de generalización, es decir el mismo nivel de contenido temático y de detalle espacial.

El sistema de referencia cartográfico utilizado es el European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89), sistema recomendado por la Unión Europea para geodatos europeos y sistema de referencia nacional (Real Decreto 1071/2007). El sistema de proyección es Lambert Azimuthal Equal Area (LAEA), sistema recomendado por la Agencia Europea de Medioambiente (EEA) a la hora de realizar información cartográfica para la generación de análisis estadísticos.

La escala espacial de trabajo en formato vectorial corresponde a 1:100.000, con una unidad mínima cartografiable de 25 ha. y un ancho mínimo en elementos lineales de 100 m. En formato ráster, la escala espacial es de 50 m. píxel.

Asimismo, la máscara de delimitación de la zona de estudio de la Comunidad de Madrid (CM) que se utiliza es la correspondiente a la base cartográfica nacional (BCN) a escala 1:25.000, la cual fue descargada a través del servidor de productos del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

Se trabaja con tres niveles de detalle, tal y como muestra la tabla 4-1.

Nivel 1 (CLUE / LCM)	Agregación de las categorías del nivel 3 de CORINE Land Cover (CLC) en siete categorías. Se utiliza sólo en los escenarios de futuro.
Nivel 2	Corresponde con el nivel 2 de la leyenda jerárquica de los mapas de CORINE Land Cover (CLC). Se utiliza en los análisis de cambios de uso.
Nivel 3	Corresponde con el nivel 3 de la leyenda jerárquica de los mapas de CORINE Land Cover (CLC). Se utiliza en los análisis de cambios de uso.

Tabla 4-1. Diferentes niveles de detalle utilizados en este trabajo.

4.2 FUENTES DE DATOS ESPACIALES Y TEMPORALES

Se ha querido comenzar el estudio a partir de la génesis de Madrid como Comunidad Autónoma, registrando y analizando los grandes cambios que se producen a partir de la década de los 80.

Es por ello que, en este trabajo, son cuatro mapas los que juegan un papel fundamental: el mapa de Vegetación y Usos del suelo de la Comunidad de Madrid, del año 1982, y los tres CLC de los años 1990, 2000 y 2006. Estos cuatro mapas de usos del suelo son la base de los análisis de cambios de usos. Se ha trabajado con dos niveles de detalle de CLC, el nivel 2 y 3, detallados en el anexo 2.

El Mapa de Vegetación y Usos del Suelo de la Comunidad de Madrid fue realizado en el año 1982 y fue remitido por la Consejería de Medio Ambiente,

Vivienda y Ordenación del Territorio de dicha Comunidad. Tiene una escala espacial 1:50.000. Se compone de una leyenda temática de 63 categorías diferentes, integradas en 13 categorías más generales; esta leyenda puede consultarse en la tabla 4-4 que figura en el apartado de metodología general (4.3) de este capítulo.

En cuanto a los mapas CLC, éstos pertenecen al programa CORINE (Coordination of Information of the Environment) que inicia en el año 1985 la Comisión Europea. Dicho programa engloba el proyecto CORINE Land Cover, cuyo objetivo fundamental es la captura de datos alfanuméricos y geográficos para la creación de una base de datos sobre la ocupación del territorio en Europa. El organismo encargado de coordinar este proyecto es la Agencia Europea de Medioambiente (EEA) a través de la Red Europea de Información y Observación del Medio Ambiente (EIONET). El centro nacional de referencia en España es el Instituto Geográfico Nacional (IGN), encargado de generar la base de datos, en colaboración con las Comunidades Autónomas y los diferentes Ministerios.

Los productos elaborados a día de hoy son tres:

- a) CORINE Land Cover 1990 (CLC90);
- b) Image & CORINE Land Cover 2000 (I&CLC2000), actualización de CLC90 referida al año 2000; y
- c) CORINE Land Cover 2006 (CLC2006): actualización de CLC2000 referida al año 2006.

En este trabajo se ha hecho uso de los tres mapas mencionados, los cuales fueron descargados de la página web del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), del IGN.

Puntualizar que el mapa cuyo nombre oficial es CLC 1990, corresponde, en realidad, al año 1987 ya que éste se realizó con imágenes satelitales de dicho año. Por tanto, todo dato derivado de esta cartografía y que en este trabajo aparece como 1990, estará referido a 1987.

Las principales características de los productos CLC son:

- Escala de Referencia: 1:100.000.
- Sistema geodésico de referencia ETRS89 y Sistema cartográfico de representación UTM.
- Fotointerpretación sobre imagen de referencia Landsat TM en el año 1990, Landsat7 en el año 2000 e imágenes SPOT4 en el año 2006.
- Unidad mínima cartografiable: 25 ha.; en el caso de cambios en la ocupación del suelo: 5 ha.
- Clasificación jerárquica de 3 niveles con 44 clases de coberturas y usos del suelo.

La actuación del CLC2006 se lleva a cabo en España con la imagen de referencia SPOT5, misma imagen de referencia del proyecto SIOSE. Tanto en el CLC90 como en el CLC2000, la clasificación se realizó en 5 niveles jerárquicos, con mayor número de clases (64) y, por tanto, mayor detalle en su definición.

Para más información sobre su elaboración pueden consultarse los siguientes documentos:

- CEC (1994) CORINE Land Cover- part 1. Methodology;
- CEC (1994) CORINE Land Cover- part 2. Nomenclature;
- CEC (1997) Technical and methodological guide for updating CORINE Land Cover data base;
- EEA (2000) CORINE Land cover technical guide – Addendum 2000. Technical report, No 40;
- IGN (2001) Nomenclatura del CORINE Land Cover al nivel 5, CLC90;
- IGN (2002) CORINE 2000. Descripción de la nomenclatura del CORINE Land Cover al nivel 5;
- IGN (2004) CORINE Land Cover – Proyecto I&CLC2000 España. Actualización de la base de datos CORINE Land Cover. Informe final;
- JRC (2005) IMAGE2000 and CLC2000. Products and Methods. CORINE Land Cover updating for year 2000; y
- EEA (2007a) CLC2006 Technical guidelines. EEA Technical report, No 17/2007.

Como se ha comentado previamente, se ha hecho uso además de información complementaria, proveniente de diferentes organismos y con diferentes escalas, tanto espaciales como temporales. La tabla 4-2 recoge, de forma sintética, estas fuentes. Si se desea una descripción más extensa sobre éstas, puede consultarse el anexo 1.

Asimismo, se han utilizado fotografías aéreas, ortofotografías e imágenes de satélite disponibles, cercanas a las fechas que corresponden con los mapas de cubiertas o usos del suelo utilizados. Éstas han sido empleadas especialmente para la corrección de errores cartográficos detectados en los mapas de usos del suelo y en la homogeneización y conversión de la leyenda del mapa de 1982 a la leyenda CLC, especialmente en la asignación de categorías dudosas. La tabla 4-3 resume dichas fuentes.

Tipo de fuente	Fecha de elaboración /suministro	Resolución Espacial	Producto y/o derivados
Formato vectorial	2002	1: 200.000	Mapa geológico de la Comunidad de Madrid. Mapa litológico.
Formato vectorial	2004	1:50.000	Mapas de los diferentes embalses
Formato ráster	2009	5 metros	Modelo digital de elevaciones. Altitud y Pendiente.
Formato vectorial	1985	1: 50.000	Mapa de cultivos y aprovechamientos
Formato vectorial	1987	1: 400.000	Mapa de vegetación potencial
Formato vectorial	1986-1996	1: 50.000	Mapa de montes de utilidad pública
Formato vectorial	2001	1: 5.000	Mapa de montes preservados
Formato vectorial	2004	1: 50.000	Capacidad agrológica de las tierras de la Comunidad de Madrid
Formato vectorial	2006	1: 25.000	Mapa digital continuo de la vegetación de la Comunidad de Madrid.
Formato vectorial	2008	1:10.000	Mapa de terreno forestal de la Comunidad de Madrid
Formato vectorial	2003	1: 50.000	Mapa Parque Regional del Guadarrama
Formato vectorial	2003	1: 50.000	Mapa Parque Natural de Peñalara
Formato vectorial	2004	1: 50.000	Mapa Parque Regional del Sureste
Formato vectorial	2005	1: 50.000	Mapa Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares
Formato vectorial		1: 50.000	Mapa zona especial de conservación Cuenca de los ríos Alberche y Cofio
Formato vectorial	2011	1: 50.000	Mapa propuesta de Parque Nacional del Guadarrama.
Formato vectorial	2005	1: 50.000	Hábitats
Formato vectorial	2007	1: 50.000	Mapa de lugares de importancia comunitaria (LIC)
Formato vectorial	2008	1: 50.000	Mapa de zonas de especial protección para las aves (ZEPAS)
Formato vectorial	2007	1: 50.000	Mapa de valor ecológico del paisaje
Formato vectorial	2007	1: 25.000	Clasificación y Calificación de Usos del suelo de la Comunidad de Madrid
Formato vectorial	2008	1: 25.000	Mapa de la evolución de la ocupación del suelo
Formato vectorial	2006	1: 5.000	Áreas de suelo en desarrollo en el área urbana de Madrid.
Formato vectorial	2009	1: 200.000	Base cartográfica Numérica, BCN200
Formato vectorial	2011	1: 500.000	Base cartográfica Numérica, BCN500
Formato vectorial	2012	1: 25.000	Base topográfica Nacional, BTN25

Tabla 4-2. Otras fuentes cartográficas de información utilizadas, además de los mapas de usos del suelo.

Tipo de fuente	Fecha	Resolución Espacial
Fotografías aéreas	1956	1: 33.000
Imagen de satélite Landsat	1984	30 metros
Imagen de satélite Landsat	1987	15 metros
Ortofotografías	1991	1: 18.000
Ortofotografías	1999	1: 5.000
Ortofotografías del SIGPAC	2002	1: 10.000

Tabla 4-3. Fotografías áreas, ortofotografías e imágenes de satélite utilizadas.

4.3 METODOLOGÍA GENERAL DE TRABAJO

En este apartado se detallan cuestiones metodológicas generales. Se comentan, por tanto, los procesos globales que se han seguido para la conversión de la información cartográfica disponible a un formato genérico y homogéneo para poder ser utilizada.

Como se ha mencionado previamente, en los dos capítulos de cambios de usos del suelo y de simulación de escenarios de futuro (capítulos 5 y 6) se describe, con mayor detalle, la metodología correspondiente a cada uno de ellos; esto facilitará la lectura dado que, al tener una extensión considerable, la metodología de análisis no queda así muy distanciada de los resultados obtenidos.

Toda la información espacial que fue recogida y/o elaborada en este estudio fue generalizada y homogeneizada mediante los siguientes procesos:

- Conversión a un sistema de referencia común, ETRS 89 LAEA.
- Generalización de la información a escala 1:100.000
- Simplificación de los bordes de los polígonos.
- Eliminación de los polígonos y elementos lineales con un tamaño inferior a 25 ha. y 100 m. de ancho, respectivamente.
- Adaptación de los límites espaciales de la CM a los límites utilizados como referencia (BCN 1:25.000).
- Adaptación de la leyenda temática del mapa de 1982 a la leyenda CLC.

A continuación se explica con más precisión los procesos realizados con los mapas de usos del suelo de los años 1982, 1990, 2000 y 2006 y con el resto de fuentes cartográficas utilizadas.

4.3.1 Mapa de vegetación y usos del suelo de la Comunidad de Madrid, 1982.

Dado que el Mapa de Vegetación y Usos del suelo de la Comunidad de Madrid presentaba unas características diferentes a CLC, en cuanto a la resolución espacial y temática, se llevó a cabo una reclasificación y una generalización del mismo.

El primer procesamiento consistió en la armonización de su leyenda temática mediante la reconversión de ésta a la leyenda CLC. Para ello, las 63 categorías que posee dicho mapa tuvieron que ser asignadas o agregadas a alguna de las categorías de CLC a nivel 3. La tabla 4-4 muestra la reclasificación realizada.

Mapa 1982		CLC, nivel 3
Descripción 82	Descripción General 82	
Abedulares	Robledales, hayedos, abedulares, castañares y otras frondosas	Bosque de frondosas
Acebedas	Robledales, hayedos, abedulares, castañares y otras frondosas	Bosque de frondosas
Alcornocales	Encinares, coscojares, quejigares y alcornocales	Bosque de frondosas
Canteras	Canteras	Zonas de extracción minera
Castañar	Robledales, hayedos, abedulares, castañares y otras frondosas	Bosque de frondosas
Cauces y zonas inundables con pastos, arbolado, cultivos, arenas y gravas	Regadíos, vegetación ripícola	Terrenos regados permanentemente; o arbolado de ribera; o zonas de extracción minera.
Coscojares densos sobre cuestras y taludes	Encinares, coscojares, quejigares y alcornocales	Bosque de frondosas
Cultivos de regadío en grandes vegas y terrazas	Regadíos, vegetación ripícola	Terrenos regados permanentemente
Cultivos de regadío en vegas más pequeñas	Regadíos, vegetación ripícola	Terrenos regados permanentemente
Ejemplares dispersos de enebro sobre roquedos con matorral	Enebrales y sabinares	Espacios con vegetación escasa; o roquedo; o matorral; o bosques de coníferas; o matorral arbolado boscoso de transición.
Embalses	Embalses	Láminas de agua
Encinar arbóreo y arbustivo sobre cuestras	Encinares, coscojares, quejigares y alcornocales	Bosque de frondosas
Encinar claro	Encinares, coscojares, quejigares y alcornocales	Bosque de frondosas; o Matorral boscoso de transición
Encinar claro con estructura en mosaico con pastos	Encinares, coscojares, quejigares y alcornocales	Bosque de frondosas
Encinar muy claro con matorral	Encinares, coscojares, quejigares y alcornocales	Matorral boscoso de transición
Encinares adehesados sobre pastos	Encinares, coscojares, quejigares y alcornocales	Sistemas agroforestales
Encinares arbóreos en mosaico con matorrales y cultivos	Encinares, coscojares, quejigares y alcornocales	Matorral boscoso de transición; o terrenos principalmente agrícolas con vegetación
Encinares densos	Encinares, coscojares, quejigares y alcornocales	Bosque de frondosas
Encinares muy claros sobre matorral y pastos	Encinares, coscojares, quejigares y alcornocales	Matorral boscoso de transición
Encinares y coscojares, predominantemente arbustivos	Encinares, coscojares, quejigares y alcornocales	Matorral esclerófilo; o Matorral boscoso de transición
Encinares y quejigares arbóreos con espesura completa	Encinares, coscojares, quejigares y alcornocales	Bosque de frondosas
Enebrales	Enebrales y sabinares	Bosque de coníferas
Enebral sobre roquedo no	Enebrales y sabinares	Bosque de coníferas

Mapa 1982		CLC, nivel 3
Descripción 82	Descripción General 82	
predominante <50%		
Enebral sobre roquedo predominante >50%	Enebrales y sabinares	Espacios orófilos con vegetación escasa (<i>están en altitud</i>)
Formación abierta de frondosas arbóreas	Robledales, hayedos, abedulares, castaños y otras frondosas	Bosque de frondosas; o Matorral boscoso de transición
Galerías estrechas en la sierra y rampa	Regadíos, vegetación ripícola	Bosque de frondosas; o bosques de ribera.
Hayedo con melojo y roble	Robledales, hayedos, abedulares, castaños y otras frondosas	Bosque de frondosas
Matas aisladas o rodales de coscoja, con encinas y quejigos arbóreos dispersos	Encinares, coscojares, quejigares y alcornocales	Matorral boscoso de transición
Matorral calcícola	Matorrales	Matorral esclerófilo
Matorral calizo	Matorrales	Matorral esclerófilo
Matorral de altura: piornales, codesares	Matorrales	Matorral esclerófilo
Matorral de tránsito	Matorrales	Matorral boscoso de transición; o Matorral esclerófilo
Matorral yesoso	Matorrales	Matorral esclerófilo
Matorral acidófilo: brezales	Matorrales	Matorral esclerófilo
Matorral acidófilo: cantesuares, tomillares	Matorrales	Matorral esclerófilo
Matorral acidófilo: jarales	Matorrales	Matorral esclerófilo
Mosaico abigarrado de prados, viñas, olivares, secanos, setos arbustivos	Mosaicos de cultivo/matorral	Mosaico de cultivos
Mosaico de cultivos de secano y eriales o retama	Mosaicos de cultivo/matorral	Mosaico de cultivos
Mosaico de cultivo de secano y retamares	Mosaicos de cultivo/matorral	Terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural
Mosaico de cultivo y matorral	Mosaicos de cultivo/matorral	Terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural
Mosaico de cultivos con encinas	Mosaicos de cultivo/matorral	Terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural
Mosaico de olivares y secanos	Cultivos agrícolas de secano	Mosaico de cultivos
Mosaico de cultivos de secano y matorrales	Mosaicos de cultivo/matorral	Terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural
Olivares	Cultivos agrícolas de secano	Olivares
Pastos	Pastos y praderas	Prados y praderas
Pinar de pino albar	Pinares	Bosque de coníferas
Pinar de pino carrasco	Pinares	Bosque de coníferas
Pinar de pino laricio	Pinares	Bosque de coníferas
Pinar de pino negral	Pinares	Bosque de coníferas
Pinar de pino piñonero	Pinares	Bosque de coníferas
Pinares mezclados	Pinares	Bosque de coníferas
Quejigares arbóreos y arbustivos	Encinares, coscojares, quejigares y alcornocales	Bosque de frondosas; o matorral boscoso de

Mapa 1982		CLC, nivel 3
Descripción 82	Descripción General 82	
		transición
Rebollar arbóreo con otras especies arbóreas	Encinares, coscojares, quejigares y alcornocales	Bosque de frondosas
Rebollar puro	Encinares, coscojares, quejigares y alcornocales	Bosque de frondosas
Rebollares o fresnedas arbustivos	Encinares, coscojares, quejigares y alcornocales	Bosque de frondosas; o Matorral boscoso de transición
Rebollares o fresnedas sobre pastos en tránsito a dehesas	Encinares, coscojares, quejigares y alcornocales	Sistemas agroforestales
Recintos urbanos	Recintos urbanos	<i>Desagregada en diferentes usos</i>
Regadíos alternando con secanos en zonas regadas con pozos	Regadíos / vegetación ripícola	Mosaico de cultivos
Retamares, eriales	Matorrales	Matorral esclerófilo
Sabinar de sabina albar	Enebrales y sabinares	Bosque de coníferas
Secanos a eriales en áreas suburbanas	Cultivos agrícolas de secano	Tierras de labor en secano
Secanos	Cultivos agrícolas de secano	Tierras de labor en secano

Tabla 4-4. Reclasificación realizada a partir de las categorías del mapa de 1982 en categorías CORINE Land Cover, nivel 3. En gris, categorías dudosas.

Las categorías cuyas celdas se encuentran sombreadas en gris se corresponden con categorías que fueron revisadas utilizando la imagen de satélite Landsat 5 TM correspondiente al año 1984, con el objetivo de verificar si la reasignación a dicha categoría era correcta o no. Estas categorías dudosas se superpusieron, a su vez, con el mapa CLC 1990 para conocer la clasificación a la que correspondían dichas manchas en ese año y observar si esta clasificación se seguía manteniendo o, si de lo contrario, había habido un cambio de uso o cubierta.

Asimismo, la categoría “Recintos Urbanos” hubo de ser desagregada en diferentes usos, ya que el mapa de 1982 englobaba varias categorías de CLC (tabla 4-5). Para ello se hizo uso también del mapa de la Evolución de la Ocupación del suelo que contiene las áreas artificiales que había en el año 1980, donde se muestran once usos del suelo, tales como aeropuertos, edificios en construcción, industria y servicios, parques, uso residencial, uso urbano denso, uso rural, etc., presentes en la CM en ese año.

Igualmente, hubo categorías que en dicho mapa no existían por lo que hubieron de ser cartografiadas, tal y como muestra la tabla 4-6.

Desagregación de la categoría “Recintos Urbanos”
<ul style="list-style-type: none"> - Tejido urbano continuo - Tejido urbano discontinuo - Zonas industriales o comerciales - Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados - Aeropuertos - Escombreras y vertederos - Zonas en construcción - Zonas verdes urbanas - Instalaciones deportivas y recreativas

Tabla 4-5. Usos que fueron desagregados al contener, el mapa de 1982, varias categorías de CLC en una misma, con el objetivo de reconvertir dicha leyenda a CLC.

Usos que fueron cartografiados
<ul style="list-style-type: none"> - Viñedos - Frutales - Bosques mixtos - Pastizales naturales - Roquedo - Espacios con vegetación escasa - Humedales y zonas pantanosas - Cursos de agua

Tabla 4-6. Usos que fueron cartografiados por no estar presentes en el mapa de 1982, con el objetivo de reconvertir dicha leyenda a CLC.

Una vez realizada la reclasificación y habiéndole otorgado previamente el sistema de referencia común, se procedió a la generalización del mapa, de una escala 1: 50.000 a 1: 100.000. Para ello, se procedió a la eliminación de los polígonos menores de 25 ha. y de los elementos lineales menores de 100 m. de ancho (figura 4-1). Posteriormente, se eliminaron los *slivers* utilizando como base el mapa CLC 1990, entendiendo que el mapa de 1982, al estar cartografiado con mayor detalle, los límites de los polígonos no coincidían con un mapa de menor escala, como es CLC. La figura 4-2 muestra un ejemplo de este procesamiento.

En la simplificación de los polígonos no se han utilizado tolerancias o parámetros; se ha mirado cada delimitación una a una y se ha hecho uso directamente de la línea demarcada en CLC 90, en el caso de manchas coincidentes en ambos años.

Los límites administrativos exteriores de la CM también tuvieron que ser modificados, utilizándose para ello el límite ofrecido por la BCN 1:25.000 detallada anteriormente.

El resultado puede verse en anexo 7.

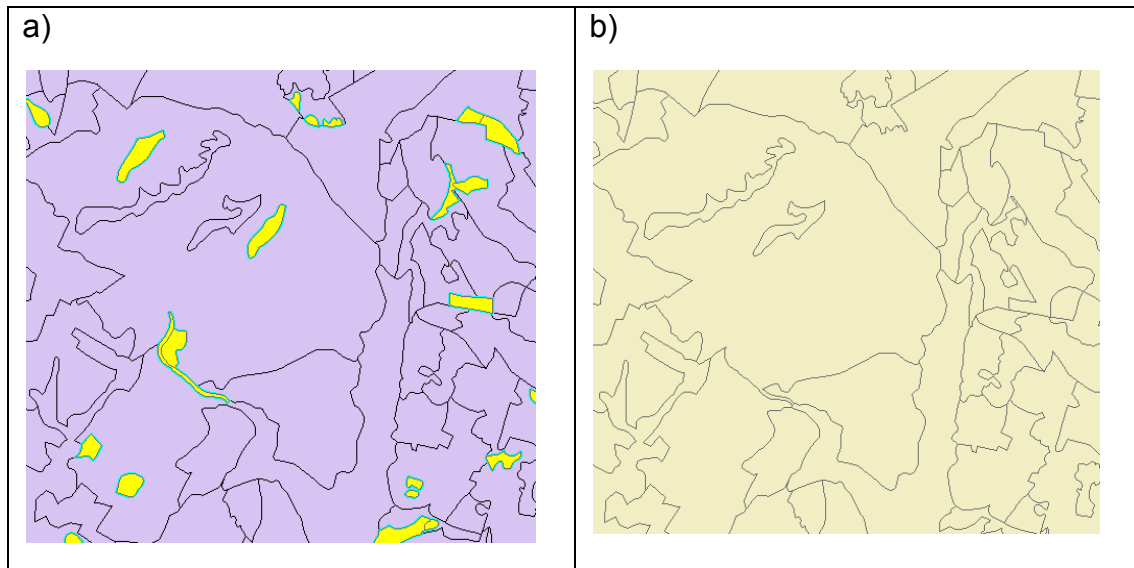


Figura 4-1. Ejemplo de metodología utilizada para la eliminación de polígonos menores de 25 hectáreas. a) Mapa de 1982, con polígonos menores de 25 hectáreas resaltados en amarillo. b) Mapa de 1982, una vez eliminado dichos polígonos.

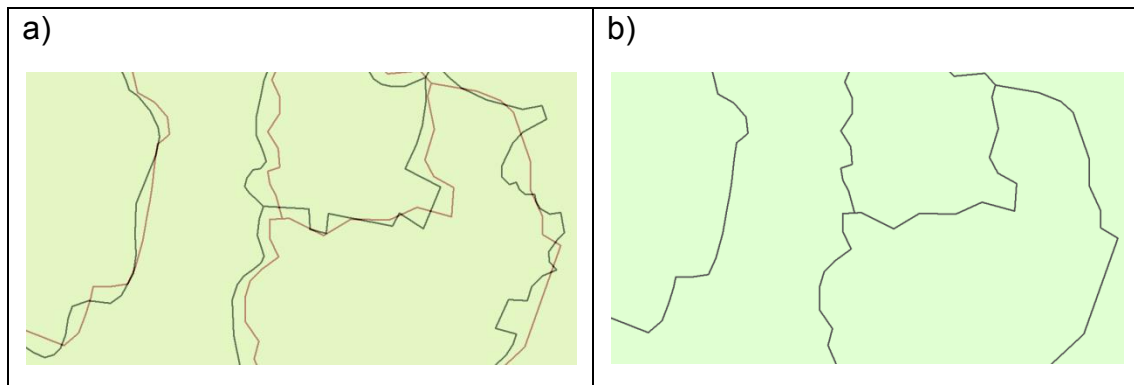


Figura 4-2. Simplificación de los límites de los polígonos con el objetivo de eliminar los *slivers*. En a) se observa el límite correspondiente al mapa de 1982 (en gris) y el límite correspondiente al mapa CLC 1990 (en rojo). Los polígonos no han cambiado en el tiempo y la diferencia entre uno y otro se debe al detalle a la hora de cartografiar, por lo que los límites de los polígonos que permanecen estables se simplifican a los límites del mapa de 1990 (b).

4.3.2 Mapas CORINE Land Cover

Como se ha comentado previamente, se seleccionaron para el estudio de cambios de usos del suelo los niveles 2 y 3 de su leyenda, entendiendo que el nivel 4, que presenta más de 40 categorías diferentes, sobrepasaba los límites del objetivo de este trabajo, ya que la representación cartográfica e incluso gráfica se hacía prácticamente imposible al no poderse visualizar correctamente tal número de categorías. Hay que tener en cuenta, además,

que en la cartografía de CLC 2006 el máximo detalle que se posee es el nivel 3.

La fuente original tenía como sistema de referencia el European Datum 1950 (ED50), por lo que fue proyectada al sistema de referencia ETRS89 LAEA, mediante el modelo de transformación definido por el Instituto Geográfico Nacional, formato NTv2 de transformación de ED50 a ETRS89.

El nivel 3 de la leyenda CLC presenta, en la CM, 32 categorías diferentes, utilizando en este estudio 30, mientras que el nivel 2 presenta 13 categorías. La nomenclatura correspondiente a ambos niveles puede consultarse en el Anexo 2.

En el nivel 3 se trabaja con dos categorías menos, ya que se descartó la categoría correspondiente al uso del suelo “Playas, dunas y arenales”, la cual aparecía en los bordes de los embalses; dicha categoría se muestra cuando las aguas de los embalses están bajas en el momento de registro de la imagen satelital con la que se realiza la cartografía y se ha considerado que la capacidad del embalse no debería figurar como un cambio de uso del suelo, ya que ésta depende de la fecha de la toma de la imagen y de las precipitaciones que ese año, en particular, se produjeron. Igualmente, se suprimió la categoría correspondiente a “Zonas quemadas”, entendiendo que su transición es difícil de modelar; dicha categoría fue reclasificada, mediante la utilización de imágenes aéreas u ortofotografías próximas a la fecha, al uso del suelo que correspondía, generalmente matorral o espacios con vegetación escasa.

Al realizar el cruce de los mapas CLC se encontraron, además, errores cartográficos, por lo que fueron sometidos a un laborioso proceso de corrección, tal y como se detalla en el apartado metodológico del capítulo de cambios de usos del suelo (capítulo 5).

Los mapas finales de CLC utilizados en este estudio están representados, a nivel 2 y 3, en el anexo 7.

4.3.3 Otro tipo de información cartográfica

Todas las fuentes cartográficas, detalladas en la tabla 4-2 recogida anteriormente, fueron reproyectadas al sistema de referencia ETRS89 LAEA. La cartografía con una escala gráfica superior a 1:100.000, escala de referencia en este trabajo, fue generalizada mediante la eliminación de polígonos menores de 25 ha. y de elementos lineales menores de 100 m. de ancho. Se procedió también a una modificación de los límites de la Comunidad Autónoma mediante la utilización de una máscara definida por la BCN 1:25.000.

CAPÍTULO 5. CAMBIOS DE USOS DEL SUELO EN LA COMUNIDAD DE MADRID ENTRE 1982 Y 2006

- 5.1 Introducción
- 5.2 Metodología
- 5.3 Resultados
- 5.4 Conclusiones

5.1 INTRODUCCIÓN

Como se ha visto en los capítulos anteriores, mediante la comparación de mapas de usos del suelo de dos o más puntos en el tiempo puede responderse a dos preguntas por separado: ¿dónde se llevan a cabo los cambios de usos del suelo?, es decir, la localización del cambio, y ¿qué tasas de cambio se han producido o se están produciendo?, es decir, la cuantificación del cambio. Los cambios en los usos del suelo son el resultado de la interacción de multitud de factores de diversa índole: físicos, biológicos, climáticos, económicos, políticos, demográficos, culturales y sociales.

La Comunidad de Madrid (CM) ha experimentado en los últimos 20 años un rápido crecimiento económico que ha conllevado importantes transformaciones territoriales y, por ende, cambios decisivos en los usos del suelo.

Se ha querido comenzar el estudio a partir de la génesis de Madrid como Comunidad Autónoma, registrando y analizando los grandes cambios que se han producido a partir de la década de los 80. Es, por tanto, objeto de este capítulo analizar los cambios de usos del suelo que se han sucedido en la CM entre los años 1982 y 2006. Se han diferenciado cuatro periodos: a) 1982-1990; b) 1990-2000; c) 2000-2006; y d) 1982-2006; este último con la intención de mostrar la trayectoria global de los datos temporales con los que se cuenta.

Para llevar a cabo estos análisis se ha hecho uso de cuatro mapas de usos del suelo correspondientes, cada uno de ellos, a los cuatro datos temporales citados anteriormente. Para el dato de 1982, se ha hecho uso del mapa de Vegetación y Usos del Suelo de la CM del año 1982, facilitado por la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio de dicha Comunidad. Los datos de los años 1990, 2000 y 2006, son los correspondientes a los mapas CORINE Land Cover (CLC). Puntualizar que el mapa cuyo nombre oficial es CLC 1990 corresponde, en realidad, al año 1987, ya que éste se realizó con imágenes satelitales de dicho año; por tanto, todo dato derivado de esta cartografía y que en este trabajo aparece como 1990, estará referido a 1987, año de la toma de dicho material.

Las categorías de usos del suelo que se han utilizado son las correspondientes a las categorías CLC a nivel 2 (13 categorías presentes en la Comunidad de

Madrid), si bien se ha trabajado también con las categorías CLC nivel 3 (30 categorías en la región) para obtener más detalle sobre los resultados. Éstas pueden consultarse en el Anexo 2.

El uso de cartografía generada con una metodología diferente, como es el caso del mapa de Vegetación y Usos del Suelo del año 1982, con respecto a los mapas CLC, puede repercutir en cambios de usos del suelo que no se han dado en la realidad, alterando así los resultados de los análisis. Aun habiendo sido trabajado este mapa mediante un proceso de generalización y homogeneización cartográfica, como se detalla en el capítulo 4 (apartado 4.3.1) con el fin de que este dato sea comparable con los mapas CLC, dicho mapa puede seguir conteniendo datos erróneos. Si bien, hay que tener en cuenta que la propia cartografía de CLC contiene, a su vez, errores, tal y como demuestran estudios como los de Catalá Mateo et al. (2008), Hewitt y Escobar (2011), Barreira et al. (2012), Gallardo y Martínez-Vega (2012a) o Díaz-Pacheco y Gutiérrez (2013), donde se señalan la presencia de dichos errores cartográficos en la CM. Asimismo, en este trabajo se constata la presencia de estos errores en CLC, los cuales han sido sometidos a un proceso de corrección, tal y como se describe en el apartado de metodología y de resultados de este capítulo.

Los mapas ya corregidos, de los años 1982, 1990, 2000 y 2006, utilizados para la detección de cambios, a nivel 2 y 3 de CLC, pueden consultarse en el anexo 7.

La relación entre los diferentes usos del suelo y los factores explicativos de la localización de dichos usos y/o de los cambios, se presenta en el capítulo de simulación de escenarios (Capítulo 6), ya que el resultado de dichas relaciones es utilizado para realizar los escenarios a futuro.

5.2 METODOLOGÍA

Los análisis de cambios de usos del suelo que se detallan en este capítulo han sido llevados a cabo utilizando diferentes técnicas y modelos.

Uno de los modelos utilizados ha sido el Land Change Modeler (LCM) del software IDRISI. Dicho modelo permite el análisis de cambios de cobertura y usos del suelo que se han producido en el pasado mediante un conjunto de herramientas que evalúan los cambios, de forma gráfica y cartográfica, proporcionando análisis de ganancias y pérdidas, cambios netos, intercambios y/o transiciones de usos entre dos fechas temporales, así como mapas de localización de los cambios.

Se ha hecho uso también de las técnicas desarrolladas por Pontius y sus co-autores, como son análisis de intensidad, análisis de inestabilidad temporal y análisis de agregación categórica.

Los análisis llevados a cabo en este capítulo se han efectuado mediante el empleo de diferente software: IDRISI, versión Taiga y Selva, y ArcGis 9.2 y 10.

A continuación se realiza una descripción más detallada de cada proceso.

5.2.1 Matrices de tabulación cruzada

Se ha hecho uso de matrices de tabulación cruzada o matrices de transición, método propuesto por Pontius et al. (2004b) para analizar mapas de usos del suelo por pares temporales con el objetivo de detectar los cambios más significativos entre los diferentes usos del suelo. Estas matrices se corresponden con una tabla que compara la superficie de cada uno de los dos mapas de usos del suelo que se analizan; cada una de las celdas de la diagonal principal muestra la superficie de cada uso que ha permanecido estable durante dicho periodo, mientras que el resto de las celdas muestra la superficie que ha cambiado y hacia qué categoría se ha dirigido dicho cambio. Con la información proporcionada por dicha matriz pueden obtenerse, además, valores de ganancias, pérdidas, intercambios, cambio total y cambio neto para cada categoría de uso del suelo.

La figura 5-1 muestra detalladamente la definición de dicha matriz. Las categorías de usos del suelo del Tiempo1 están representadas en las filas y las categorías de usos del suelo del Tiempo2 en las columnas. P_{ij} representa la proporción de un uso del suelo que transiciona de la categoría i a la categoría j . P_{jj} , en la diagonal, indica la proporción de persistencia de la categoría j , mientras que el resto de celdas indican una transición de la categoría i a una categoría diferente j .

		Tiempo 2			Total	Pérdidas
		Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Tiempo 1	
Tiempo 1	Categoría 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
	Categoría 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{2+}	$P_{1+} - P_{22}$
	Categoría 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{3+}	$P_{1+} - P_{33}$
Total Tiempo 2		P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}		
Ganancias		$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$		

Figura 5-1. Matriz de tabulación cruzada. Fuente: Pontius et al. (2004b)

A través del análisis de esta matriz se pueden obtener, como se ha dicho previamente, diversos valores. Las pérdidas están expresadas como la diferencia de la categoría i entre el Tiempo1 y el Tiempo2. Las ganancias están expresadas como la diferencia de la categoría j entre el Tiempo1 y el Tiempo2. El cambio neto es la diferencia, en valor absoluto, entre las pérdidas y las ganancias de cada categoría. El cambio total es el resultado de la suma de las ganancias y las pérdidas. El intercambio corresponde al doble del valor mínimo

de las ganancias o las pérdidas o, lo que es lo mismo, la diferencia entre el cambio total y el cambio neto.

Las matrices de tabulación cruzada actúan también como matrices de confusión o de error y muestran la existencia o no de transiciones raras o imposibles entre los diferentes usos del suelo. A la hora de realizar nuestros análisis, este tipo de transiciones fueron reveladas, manifestando así que la información cartográfica de referencia poseía errores que estaban generando, además, cambios de usos del suelo falsos. Se procedió a corregir dichos errores, siguiendo la metodología que se comenta en el apartado 5.2.7

Se realizaron matrices de tabulación cruzada a nivel 2 y 3 de CLC y se obtuvieron valores de ganancias, pérdidas, cambio neto, cambio total e intercambio, para los periodos 1982-1990, 1990-2000, 2000-2006 y 1982-2006.

5.2.2 Mapas de cambio

Para cada uno de los cuatro periodos de estudio se obtuvieron mapas de cambios mediante el cruce de los mapas de usos del suelo. Dichos cruces fueron realizados únicamente a nivel 2 de CLC, ya que el nivel 3 proporcionaba más de 250 transiciones diferentes, lo cual generaba un mapa final donde los cambios no eran fácilmente diferenciables visualmente.

Los mapas se cruzaron por pares, es decir, entre 1982 y 1990, 1990 y 2000, 2000 y 2006, y para el periodo completo 1982 y 2006. Para una mejor visualización, los mapas de cambios, a nivel 2 de CLC, fueron reclasificados en ganancias y en pérdidas, donde se muestran qué usos y en qué localizaciones se produjeron unas y otras, respectivamente.

5.2.3 Análisis de frecuencias de cambios

Se ha realizado un estudio de las frecuencias de cambios que se han dado entre los años 1982 y 2006, estudiando todos los mapas en su conjunto y no únicamente por pares temporales, como se ha detallado previamente.

Al contar con cuatro fechas diferentes pueden obtenerse hasta tres tipos de transiciones distintas y hasta cuatro categorías involucradas. La tabla 5-1 muestra algunas de las posibilidades que pueden darse.

El objetivo de este análisis es obtener un mayor detalle sobre las transiciones de usos del suelo que se han dado, analizando las frecuencias de dichas transiciones, el número de categorías involucradas y la trayectoria de las transiciones según las categorías implicadas.

1982	1990	2000	2006	Resultado
Uso A	Uso B	Uso C	Uso D	Cuatro categorías (A,B,C y D) Tres transiciones (A-B, B-C, C-D)
Uso A	Uso A	Uso B	Uso C	Tres categorías (A,B y C) Dos transiciones (A-B, B-C)
Uso A	Uso A	Uso A	Uso B	Dos categorías (A y B) Una transición (A-B)
Uso A	Uso B	Uso B	Uso B	Dos categorías (A y B) Una transición (A-B)
Uso A	Uso B	Uso C	Uso B	Tres categorías (A,B y C) Tres transiciones (A-B, B-C y C-B)
Uso A	Uso B	Uso B	Uso A	Dos categorías (A y B) Dos transiciones (A-B y B-A)

Tabla 5-1. Ejemplo de categorías y transiciones que pueden estar involucradas en un estudio de cambios de usos del suelo con cuatro datos temporales.

Asimismo, se han elaborado mapas de frecuencias y tipologías de cambio con el objeto de conocer dónde se localizan las categorías que se han mostrado más activas y qué tipo o tipos de cambio se han producido durante todo el tiempo de estudio.

Este tipo de estudios también pueden facilitar la detección de posibles errores. En la tabla 5-1 se puede observar que las últimas dos filas pueden presentar una transición anómala: no es habitual que un uso del suelo cambie a otro uso que había previamente en el tiempo. Dependiendo del uso del suelo y su localización estas transiciones deben ser revisadas. Por poner un ejemplo, si una zona determinada en el Tiempo1 pertenece a la categoría de suelo i , en el Tiempo2 cambia a ser categoría j y, de nuevo en el Tiempo3 pasa a ser categoría i , puede haber la posibilidad de que esa zona en concreto haya permanecido estable y se haya producido una interpretación errónea del uso del suelo en el Tiempo2, ya que, como se ha comentado, son raras las ocasiones en las que un uso del suelo, tras transicionar a otro, vuelve más tarde a su estado inicial, especialmente cuando se habla de periodos de menos de 13 años, como el que aquí se detalla; aun así, un claro ejemplo de este posible desarrollo puede darse, por ejemplo, cuando una categoría de bosque pasa a convertirse en matorral debido a un incendio y, posteriormente, se convierte de nuevo en bosque debido a la transición natural del matorral a bosque o debido a una repoblación. Es por ello que lo aquí expuesto debe ser contrastado con posteriores análisis.

La obtención de estos resultados se basa en la superposición de los cuatro mapas de usos del suelo. Los análisis han sido realizados tanto a nivel 2 como a nivel 3 de CLC.

5.2.4 Análisis de intensidad

Los intervalos temporales con los que se trabaja no poseen la misma escala temporal. Esta diferencia hace que sea importante realizar un análisis de la tasa de variación interanual, en lugar de considerar únicamente el cambio total.

Es por ello que se realizaron análisis de intensidad con el objetivo de cuantificar la intensidad anual de los cambios. Ésta se llevó a cabo en tres niveles de análisis: a nivel de intervalo, a nivel de categorías y a nivel de transición, para observar en qué intervalos de tiempo la tasa de variación interanual ha sido más rápida o más lenta, qué categorías se han mantenido prácticamente inactivas y cuáles han sido más activas, si estos patrones son estables a través de los diferentes intervalos de tiempo y qué transiciones son intensamente evitadas y cuáles son intensamente dirigidas por una categoría de uso del suelo determinada en un intervalo de tiempo determinado.

Esta metodología está basada en los trabajos de Aldwaik y Pontius (2012 y 2013), los cuales, mediante el estudio de matrices de tabulación cruzada examinan: a) cómo el tamaño y la tasa o velocidad de cambio varía entre los diferentes intervalos de tiempo; b) cómo el tamaño y la intensidad de las pérdidas brutas y de las ganancias brutas de cada categoría varía a través de las categorías presentes en cada intervalo de tiempo; y c) cómo el tamaño y la intensidad de las transiciones de cada categoría varía a través de otras categorías que están disponibles para esa transición (figura 5-2).

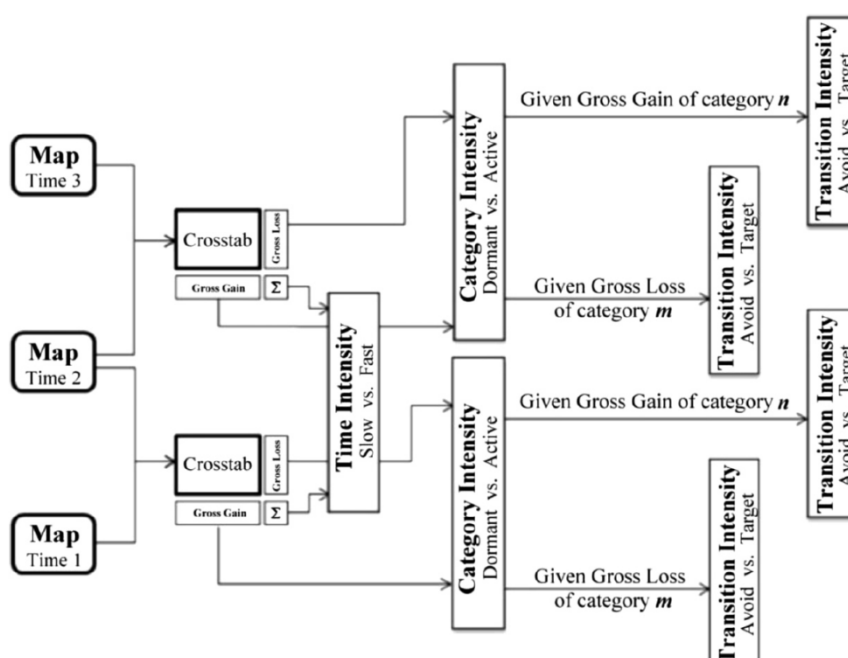


Figura 5-2. Metodología utilizada en los análisis de intensidad. Fuente: Aldwaik y Pontius (2012).

Este método sirve también para medir la estacionalidad entre dos o más intervalos de tiempo, la cual se produce cuando el patrón en un intervalo de tiempo es el mismo que el patrón en los otros intervalos de tiempo (Huang et al., 2012).

El análisis a nivel de intervalo analiza la tasa de cambio total para cada intervalo de tiempo; se trata de ver cómo el tamaño y la tasa anual de cambio varían en los diferentes intervalos de tiempo; el resultado se compara con una tasa uniforme que existiría si los cambios anuales estuviesen uniformemente distribuidos a través del tiempo. El análisis a nivel de categoría analiza la intensidad de cada categoría dentro de cada intervalo de tiempo con respecto a la tasa de cambio total que ha revelado el análisis a nivel de intervalo; se examina cada categoría para medir cómo la intensidad y el tamaño de las pérdidas brutas y de las ganancias brutas varía en el espacio; estas intensidades observadas se comparan también con una tasa de cambio anual uniforme que existiría si el cambio de cada intervalo estuviese distribuido uniformemente sobre todo el área de estudio. Por último, el análisis a nivel de transición examina la intensidad de la transición con respecto al tamaño de las categorías y en relación con los resultados obtenidos de los análisis a nivel de categoría; se analiza cada transición de forma particular para examinar cómo el tamaño y la intensidad de dicha transición varía entre las categorías disponibles para esa transición; cuando una categoría gana o pierde, este análisis puede identificar qué otras categorías están siendo intensivamente evitadas o dirigidas, comparando la intensidad observada de cada transición con una intensidad uniforme que existiría si la transición estuviese distribuida uniformemente entre las categorías disponibles para dicha transición.

El nivel de intervalo está definido por las siguientes ecuaciones:

$$St = \frac{\text{Superficie de cambio durante el intervalo } Y / \text{Superficie total}}{\text{Duración del intervalo } Y} \times 100$$

$$U = \frac{\text{Superficie de cambio durante todos los intervalos} / \text{Superficie total}}{\text{Duración de todos los intervalos}} \times 100$$

La primera ecuación define el porcentaje de cambio anual del área de estudio para cada intervalo de tiempo, mientras que la segunda ecuación define el valor de cambio anual uniforme, el cual se produce cuando se distribuye el cambio total de manera uniforme durante los intervalos, desde el primer punto en el tiempo hasta el último.

Si la intensidad del intervalo es inferior a la del periodo dado, el cambio que se ha producido es relativamente lento, mientras que si es superior, se considera que es relativamente rápido

El nivel de categoría está definido por:

$$G_{tj} = \frac{\text{Superficie de ganancia bruta de categoría } j \text{ en intervalo } Y / \text{duración del intervalo } Y}{\text{Superficie de categoría } j \text{ en la última fecha del intervalo } Y} \times 100$$

$$L_{ti} = \frac{\text{Superficie de pérdida bruta de categoría } i \text{ en intervalo } Y / \text{duración del intervalo } Y}{\text{Superficie de la categoría } i \text{ en la primera fecha del intervalo } Y} \times 100$$

Estas dos ecuaciones nos indican qué categorías son las que están inactivas y cuáles son las más activas para un intervalo de tiempo dado, así como la intensidad de ganancia y/o pérdida anual de cada categoría.

Una categoría se puede considerar activa, en cuanto a la intensidad, cuando la ganancia o pérdida de dicha categoría es superior al promedio anual, o inactiva si es inferior al promedio anual. El método nos informa también si el patrón de dicha categoría es estable en el tiempo en términos de intensidad de ganancias y de pérdidas: si la categoría es activa o inactiva en todos los intervalos de tiempo, el patrón será estable; si es activa en un intervalo pero inactiva en otro, el patrón no será estable.

El nivel de transición está definido por el análisis de transición de una categoría a otra en base a las ganancias brutas y a las pérdidas brutas:

$$R_{tin} = \frac{\text{Superficie de transición de } i \text{ a } n \text{ en intervalo } Y / \text{duración del intervalo } Y}{\text{Superficie de categoría } i \text{ en la fecha inicial del intervalo } Y} \times 100$$

$$W_{tn} = \frac{\text{Superficie de ganancia bruta de categoría } n \text{ en intervalo } Y / \text{duración del intervalo } Y}{\text{Superficie que no es categoría } n \text{ en la fecha inicial del intervalo } Y} \times 100$$

$$Q_{tmj} = \frac{\text{Superficie de transición de } m \text{ a } j \text{ en intervalo } Y / \text{duración del intervalo } Y}{\text{Superficie de la categoría } j \text{ en la fecha final del intervalo } Y} \times 100$$

$$V_{tm} = \frac{\text{Superficie de pérdida bruta de categoría } m \text{ en intervalo } Y / \text{duración del intervalo } Y}{\text{Superficie que no es categoría } m \text{ en la fecha final del intervalo } Y} \times 100$$

Las dos primeras ecuaciones aquí presentes identifican qué otras categorías están siendo excluidas y cuáles no lo son debido a la ganancia de la categoría n en el intervalo dado. Las dos últimas ecuaciones identifican qué otras categorías están siendo excluidas y cuáles no debido a la pérdida de la categoría m en el intervalo dado.

Si la intensidad anual de transición desde una categoría es superior a la intensidad uniforme de transición, se considera que dicha transición utiliza sistemáticamente dicha categoría, mientras que si es inferior, la evita.

Al igual que en el caso de la intensidad a nivel de categoría, se puede determinar si dicha transición es estable a lo largo del periodo de estudio, comparando dicha categoría en los diferentes intervalos de tiempo; si la

excluye o no la excluye en todos los intervalos será estable, mientras que si la excluye en un intervalo y en otro no, no será estable.

La metodología de análisis sigue el esquema presentado en la figura 5-2. Dado el gran número de datos con los que se cuenta, los resultados se presentan a nivel 2 de CLC para los periodos 1982-1990, 1990-2000 y 2000-2006. En cuanto a la intensidad a nivel de transición, dado que existen hasta 42 transiciones diferentes para el nivel 2 de CLC en los tres periodos en total, se muestran únicamente los resultados de las dos transiciones que se han considerado como las más interesantes, esto es, hacia zonas urbanas y desde tierras de labor.

Para obtener un mayor detalle, se presentan también datos a nivel de categoría y a nivel de transición para el periodo entero de estudio, 1982-2006, utilizando el nivel 3 de CLC. A nivel de transición, se muestran solo los resultados de las transiciones que comprenden las dos categorías que anteriormente se han mencionado.

Los cálculos se han efectuado mediante la utilización de una hoja de cálculo creada por Aldwaik y que permite un procesado automático de los datos. (<https://sites.google.com/site/intensityanalysis/>, último acceso 4 de agosto de 2013).

5.2.5 Análisis de inestabilidad temporal

Siguiendo la metodología desarrollada por Runfola y Pontius (en revisión), se analizan los mapas de usos del suelo correspondientes a los años 1982, 1990, 2000 y 2006, con el objetivo de medir la inestabilidad temporal de los datos utilizados, es decir, con el objetivo de averiguar cómo la tasa de cambio fluctúa entre los diferentes intervalos de tiempo estudiados.

Este método ayuda, además, a identificar la escala temporal en la que los diferentes procesos son estables.

Para ello, se utiliza una matriz de flujo (tabla 5-2) donde se observa la proporción de cambio de la categoría i a la categoría j durante el intervalo (Y_t , Y_{t+1}). Las filas contienen la proporción que ocupa cada categoría en el tiempo inicial Y_t y las columnas la proporción que ocupa cada categoría en la fecha siguiente Y_{t+1} . Los elementos de la diagonal no se incluyen porque indican persistencia. La última columna representa las ganancias brutas para cada categoría, mientras que la última fila representa las pérdidas brutas.

	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Ganancias brutas
Categoría 1		$\frac{C_{1,2}}{\sum_i^3 \sum_j^3 C_{ij}}$	$\frac{C_{1,3}}{\sum_i^3 \sum_j^3 C_{ij}}$	$\frac{C_{1,2} + C_{1,3}}{\sum_i^3 \sum_j^3 C_{ij}}$
Categoría 2	$\frac{C_{2,1}}{\sum_i^3 \sum_j^3 C_{ij}}$		$\frac{C_{2,3}}{\sum_i^3 \sum_j^3 C_{ij}}$	$\frac{C_{2,1} + C_{2,3}}{\sum_i^3 \sum_j^3 C_{ij}}$
Categoría 3	$\frac{C_{3,1}}{\sum_i^3 \sum_j^3 C_{ij}}$	$\frac{C_{3,2}}{\sum_i^3 \sum_j^3 C_{ij}}$		$\frac{C_{3,1} + C_{3,2}}{\sum_i^3 \sum_j^3 C_{ij}}$
Pérdidas brutas	$\frac{C_{2,1} + C_{3,1}}{\sum_i^3 \sum_j^3 C_{ij}}$	$\frac{C_{1,2} + C_{3,2}}{\sum_i^3 \sum_j^3 C_{ij}}$	$\frac{C_{1,3} + C_{2,3}}{\sum_i^3 \sum_j^3 C_{ij}}$	$\sum_{i=1}^3 \left[\left(\sum_{j=1}^3 C_{ij} \right) - C_{ii} \right]$

Tabla 5-2. Matriz de flujo. Fuente: Runfola y Pontius (en revisión)

Definidas St y U en el apartado anterior, puede computarse la ecuación siguiente (Q) que calcula el área de cambio que debería ser reasignada a un intervalo de tiempo diferente con el objetivo de que el cambio sea perfectamente estable.

$$Q = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} \{ \text{MAX} [0, (St - U)] \times (Y_{t+1} - Y_t) \}}{U \times (Y_T - Y_1)}$$

Donde, Q es la proporción de cambio inestable para todo el intervalo completo (Y_1, Y_T), St es el cambio anual, en porcentaje, durante el intervalo (Y_t, Y_{t+1}), y U es el valor de cambio anual uniforme para todo el intervalo completo (Y_1, Y_T).

Esta ecuación proporciona un valor que se corresponde con el promedio anual de cambio que es inestable para todo el periodo de tiempo, en porcentaje. Si el cambio es perfectamente estable, este valor será 0, y, cuanto más cercano a 1, más inestable es.

Los análisis de inestabilidad temporal se han realizado tanto a nivel 2 como a nivel 3 de CLC, para los tres intervalos presentes: 1982-1990, 1990-2000 y 2000-2006. Además, se ha aplicado también esta metodología a otros intervalos temporales, con el objetivo de identificar a qué escala temporal podría considerarse que los procesos de cambio han sido estables en el tiempo y qué intervalos de tiempo son los que registrarían mayor inestabilidad.

5.2.6 Análisis de agregación categórica

La agregación categórica consiste en la combinación de diferentes categorías de usos del suelo en una secuencia de agregación según el comportamiento de cambio que tiene cada categoría, pero manteniendo prácticamente la misma cantidad de cambio total que se produce. Se fundamenta, por tanto, en una reducción del número de categorías de usos del suelo con el objetivo de simplificar los mapas categóricos, pero sin que esto afecte al cambio neto total registrado.

Los resultados de los análisis realizados con mapas que poseen un gran número de categorías, como pueden ser las 30 categorías presentes en CLC nivel 3, pueden ser difíciles de interpretar. Este método permite simplificar la interpretación y, a su vez, permite un conocimiento más detallado de las transiciones de usos del suelo que pueden darse.

El objetivo de dicho análisis en este trabajo es explorar qué categorías son las responsables de las grandes transiciones y qué categorías son estables o prácticamente estables, así como mostrar el interés que puede tener este tipo de metodología. El fin, sin embargo, no es proponer una nueva agregación categórica.

La metodología está basada en el artículo de Aldwaik, Pontius y Onsted (en revisión). Estos autores, basándose en los principios de agregación categórica desarrollados por Pontius y Malizia (2004), han desarrollado un algoritmo que estudia el tamaño y la dirección del cambio de cada categoría entre dos puntos en el tiempo y evalúa si la transición que se da entre dos categorías tiene una dirección similar en el cambio neto. Así, las categorías de ganancias netas se agregan entre sí y las categorías de pérdidas netas se agregan entre sí también; si bien, nunca va a agregar una categoría de ganancia neta con una categoría de pérdida neta²⁶.

Más detalladamente se pueden concretar las siguientes definiciones en cuanto a la dirección de cambio que puede presentar un uso del suelo determinado:

Cuando el área de una categoría en el tiempo1 es igual al área de la misma categoría en el tiempo2, la categoría no cambia o presenta las mismas ganancias que pérdidas; estos dos casos reciben el nombre de “*exclusive zero*” (cero exclusivo) y “*swapping zero*” (cero intercambio), respectivamente. Cuando el área de una categoría en el tiempo1 es menor que el área de dicha categoría en el tiempo2, la categoría puede presentar exclusivamente ganancias, o puede ganar más que lo que pierde; estos dos casos reciben el nombre de “*exclusive gainer*” (ganancia exclusiva) y “*swapping gainer*” (ganancia intercambio), respectivamente. El caso opuesto se da cuando el área de una categoría en el tiempo1 es mayor que el área de dicha categoría en el tiempo2, esta categoría puede presentar exclusivamente pérdidas (“*exclusive loser*” o pérdida exclusiva), o puede perder más que lo que gana (“*swapping loser*” o pérdida intercambio). Un ejemplo de estas tipologías y comportamiento de cambio aquí definidas puede observarse en la figura 5-3.

²⁶ Una categoría presenta pérdidas netas cuando la pérdida bruta es mayor que la ganancia bruta, mientras que una categoría presenta ganancias netas cuando la ganancia bruta es mayor que la pérdida bruta. Al agregar dichas categorías entre sí, el cambio neto total se mantiene.

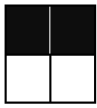
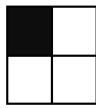




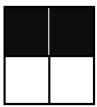
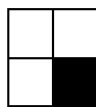
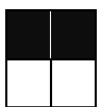
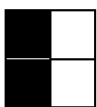


Behavior	Net					
	Loser		Zero		Gainer	
	Exclusive		Exclusive		Exclusive	
Exclusive	Exclusive Loser		Exclusive Zero		Exclusive Gainer	
						
Swapping	Swapping Loser		Swapping Zero		Swapping Gainer	
						
	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2

Figura 5-3. Casos posibles de comportamiento y tipología de cambio. En negro, la categoría de interés y en blanco, cualquier otra categoría, donde t_1 indica el tiempo1 y t_2 el tiempo2. Fuente: Aldwaik, Pontius y Onsted (en revisión).

Al agregar categorías que se comportan igual en cuanto al cambio, la cantidad de intercambio decrece.

La secuencia de agregación está definida en tres fases: la fase de *exclusive zero*, la fase de *exclusive loser* y *gainer loser* y la fase *swapping* (figura 5-4).

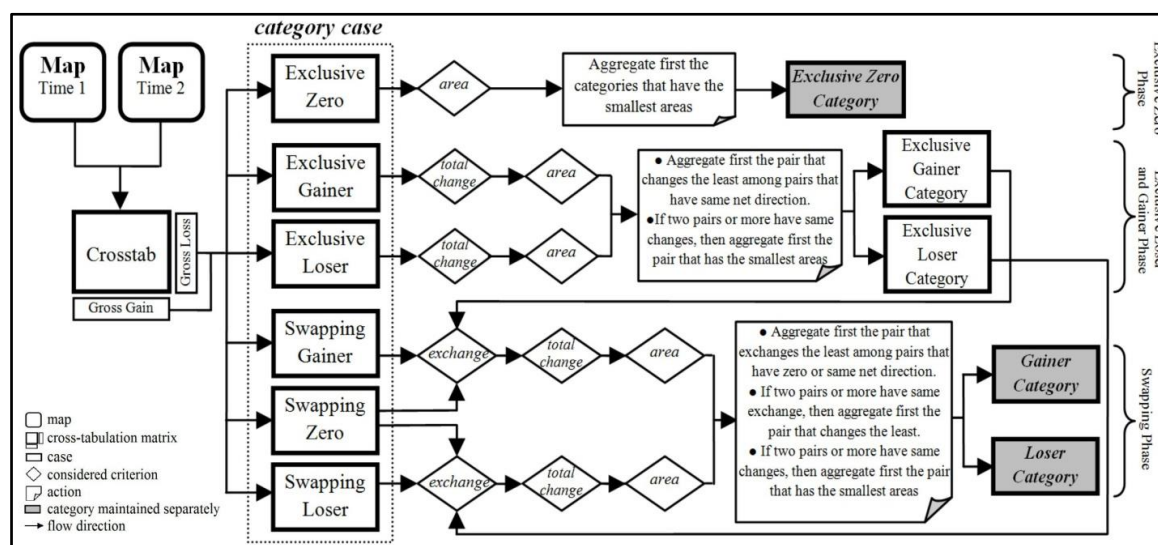


Figura 5-4. Fases del algoritmo de agregación. Fuente: Aldwaik, Pontius y Onsted (en revisión).

Las grandes transiciones se mantendrán hasta los últimos pasos de la secuencia de agregación. Los últimos pasos de dicha secuencia revelarán, pues, qué categorías son las responsables de las grandes transiciones.

Este análisis se ha realizado, tanto a nivel 2 como a nivel 3 de CLC, por pares temporales (1982-1990, 1990-2000, 2000-2006), ya que está basado en una matriz de tabulación cruzada.

Se ha llevado a cabo mediante un programa que computa dichos análisis y permite el procesado automático de los datos (<https://sites.google.com/site/intensityanalysis/>, último acceso 4 de agosto de 2013).

5.2.7 Corrección de errores encontrados en la cartografía

Como se ha descrito anteriormente, a la hora de realizar las matrices de tabulación cruzada se encontraron transiciones raras o imposibles entre unas categorías y otras, como puede ser el paso de zonas a urbanas a tierras de labor. Estos errores estaban ocasionando valores de cambios de usos del suelo manifiestamente falsos, por lo que se llevó a cabo una corrección, tanto del mapa de Vegetación y Usos del Suelo de la Comunidad de Madrid del año 1982 como de los mapas CLC.

Hay que tener en cuenta que la precisión temática de los mapas CLC en España es superior o igual al 85%, lo cual deriva en una posible generación de errores de hasta un 15%. En el mapa de 1982 no se detalla cuál es su exactitud. La precisión en el cruce de dos mapas se define como el producto de multiplicar la precisión de cada clasificación individual (Singh, 1989) por lo que, en el caso de CLC, al cruzar dos mapas con una precisión de 85%, da como resultado un 72% de precisión en el resultado, de lo que se deriva que hasta un 28% de los cambios de usos del suelo que se reflejan pueden contener errores. Por ello, la detección de posibles errores antes de llevar a cabo los análisis de cambios de usos del suelo y de simulaciones a futuro es fundamental si se quiere obtener resultados más precisos y ajustados.

Para la corrección de los errores encontrados, se utilizó como base la tabla 5-3, realizada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Esta tabla nos muestra, a nivel 3 de CLC, qué cambios son posibles (1, color blanco), los cambios que son raros y que deben ser confirmados (2, color crema) y los cambios que son inesperados y que necesitan de una explicación en caso de que se den en la realidad (3, color azul). La categoría 0, en gris, se corresponde con la persistencia.

La tabla 5-3 fue modificada ya que con algunas categorías de probabilidad de cambio de esta tabla no se estaba de acuerdo; la propuesta realizada se representa en color amarillo, en una celda con dos dígitos, donde el primero representa el dígito de probabilidad de cambio propuesto por el IGN y el segundo dígito nuestra propuesta.

Los errores que fueron corregidos son los que en dicha tabla aparecen en color azul y en color crema, es decir, los cambios que se califican como inesperados y como raros, respectivamente. La corrección se efectuó analizando las cuatro

matrices de tabulación cruzada por pares, es decir, 1982-1990, 1990-2000, 2000-2006 y 1982-2006; además, se hicieron también cruces entre los años 1982-2000 y 1990-2006. Se utilizaron, por tanto, los mapas de usos del suelo de dichas fechas en formato ráster y con un tamaño de píxel de 50 metros.

Los errores, examinados a nivel 3 de CLC, se reclasificaron, mediante la superposición de cada polígono que presentaba incongruencias, con imágenes de satélite y fotografías aéreas de años cercanos a la realización de dichos mapas, esto es: para el mapa de 1982 se hizo uso de imágenes Landsat de 1984; para el dato de 1990 se utilizó la imagen Landsat de 1987; para el mapa del año 2000, ortofotos de 1999; y para el dato del 2006, las ortofotos del SIGPAC, correspondientes al año 2002.

Code	111	112	121	122	124	131	132	133	141	142	211	212	221	222	223	231	242	243	244	311	312	313	321	323	324	332	333	411	511	512	
111	0	2	2	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
112	1	0	1	1	2	2	2	1	1	1	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	3	3	3	3	3	
121	2-1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	3	2	3	3	3	
122	2-1	1	1	0	1	2	2	1	1	1	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	
124	1	1	1	1	0	2	2	1	2	2	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	3	2	3	3	3	
131	2-1	1	1	1	2	0	1	1	2-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3-1	2	1	
132	2-1	1	1	1	2	3	0	1	2-1	2-1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	1	
133	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	
141	1	1	1	1	2	3	2	1	0	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	2	
142	1	1	1	1	2	2	2	1	2	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	2	
211	2-1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2-1	1	1	3	3	3	2	1
212	2-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2-1	1	1	3	3	2	2	1
221	2-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	2	1
222	2-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	2	1
223	2-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	3	2	1
231	2-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	3	2	1	2	1
242	2-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	2	1	1	1	2-1	1	1	3	2	2	2	2	1
243	2-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	2	2	1
244	2-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	2	2	0	1	1	1	1	3	2	1	3	2	2	2	2	1
311	2-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	0	2	1	2-1	3-1	1	3	2	2	2	2	1
312	2-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	2-1	3-1	1	3	2	2	2	2	1
313	2-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2-1	3-1	1	3	2	2	2	2	1
321	2-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	0	3-1	1	1	2	2	2	2	1
323	2-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	2-1	0	1	1	1	3	2	2	1
324	2-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2-1	3-1	0	2	1	2	2	2	1
332	2-1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	2	2	2	3	2	2	3	3	3	3	2	2	2	0	1	3	3	3	3
333	2-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1-2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	1	0	3	2	1
411	3	2	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	3	1	3	2	0	2	2	1
511	3	2	2	2	2	1	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	1	2	0	1
512	3	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	1	1	2	0
Code	111	112	121	122	124	131	132	133	141	142	211	212	221	222	223	231	242	243	244	311	312	313	321	323	324	332	333	411	511	512	

Tabla 5-3. Matriz de probabilidad de cambio para el nivel 3 de CLC. Elaboración propia, modificación de la elaborada por el IGN. Persistencia (0, color gris), Cambios posibles (1, color blanco), Cambios raros (2, color crema), Cambios inesperados (3, color azul) y modificación propuesta por los autores (color amarillo).

Códigos CLC nivel 3: 111 (Tejido urbano continuo), 112 (Tejido urbano discontinuo), 121 (Zonas industriales comerciales), 122 (Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados), 124 (Aeropuertos), 131 (Zonas de extracción minera), 132 (Escombreras y vertederos), 133 (Zonas en construcción), 141 (Zonas verdes urbanas), 142 (Instalaciones deportivas y recreativas), 211 (Tierras de labor en secano), 212 (Terrenos regados permanentemente), 221 (Viñedos), 222 (Frutales), 223 (Olivares), 231 (Prados y praderas), 242 (Mosaico de cultivos), 243 (Terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural), 244 (Sistemas agroforestales), 311 (Bosques de frondosas), 312 (Bosques de coníferas), 313 (Bosque mixto), 321 (Pastizales naturales), 323 (Matorrales esclerófilos), 324 (Matorral boscoso de transición), 332 (Roquedo), 333 (Espacios con vegetación escasa), 411 (Humedales y zonas pantanosas), 511 (Cursos de agua) y 512 (Láminas de agua).

Tanto para el proceso de detección de errores como para los análisis llevados a cabo, en las categorías de CLC a nivel 3, se eliminó la categoría 331 (playas, dunas y arenales) que aparecía en los bordes de los embalses, categoría que se muestra cuando las aguas del embalse están bajas en el momento del registro de la imagen, considerando que la capacidad de agua del embalse no debería figurar como un cambio de uso del suelo, ya que ésta depende de la fecha de la toma de la imagen y de las precipitaciones y temperaturas de ese año en particular. Igualmente, se eliminó la categoría 334 (zonas quemadas) ya que dicha categoría no figura en todos los datos utilizados y entendiendo, además, que su transición es difícil de modelar; esta categoría se reclasificó al uso del suelo que correspondía, generalmente a matorral o espacios con vegetación escasa.

A pesar de la corrección llevada a cabo, aun así es de esperar que siga habiendo otros errores no tan fácilmente detectables. No obstante, en cuanto al mapa de 1982, presuponemos que puede haber cambios falsos en los análisis derivados de esta fecha, debido a que su leyenda temática y la escala espacial es diferente; la misma generalización que se llevó a cabo ha podido generar también errores en cuanto a la reclasificación que se realizó para convertir dicha leyenda a la leyenda de CLC, especialmente en la reclasificación de categorías difícilmente clasificables dentro de las categorías CLC y, también, en cuanto a la diferencia en la escala espacial de ambas cartografías y el proceso de armonización de ambas.

En el apartado de resultados se puede observar detalladamente qué errores fueron encontrados en los tres mapas de CLC y cómo se solventaron.

5.3 RESULTADOS

5.3.1 Evolución de los usos del suelo en los años 1982, 1990, 2000 y 2006.

Durante este periodo de estudio se han producido diferentes dinámicas dependiendo de la tipología de uso del suelo estudiada. Las diferentes figuras (figuras 5-5 a 5-8) muestran la evolución que se ha dado durante estos años.

Así pueden observarse los usos del suelo que no han variado a lo largo del periodo analizado; las zonas húmedas y aguas continentales permanecen estables durante estos años y lo mismo se puede decir de los espacios abiertos con escasa o sin vegetación; datos cercanos a la estabilidad se muestran también en los prados y praderas.

Las áreas artificiales han experimentado, sin embargo, un crecimiento continuo, mientras que las áreas forestales han ido experimentado altibajos. Las áreas agrícolas también han experimentado una trayectoria continua, pero de forma descendente.

Tal y como muestra la figura 5-5, en el año 1982, prácticamente un 45% del territorio de la CM pertenecía a tierras dedicadas a la agricultura, en las que, la mayor parte, estaban dedicadas a tierras de labor en secano y terrenos regados permanentemente (28,76%). Las zonas forestales ocupaban, en aquel entonces, un 47% del total, con dominancia de matorrales y/o asociaciones de vegetación herbácea (35,97%). Las superficies artificiales representaban, únicamente, algo más del 7% del territorio, estando conformadas, en su mayoría, por el tejido urbano (4,89%).

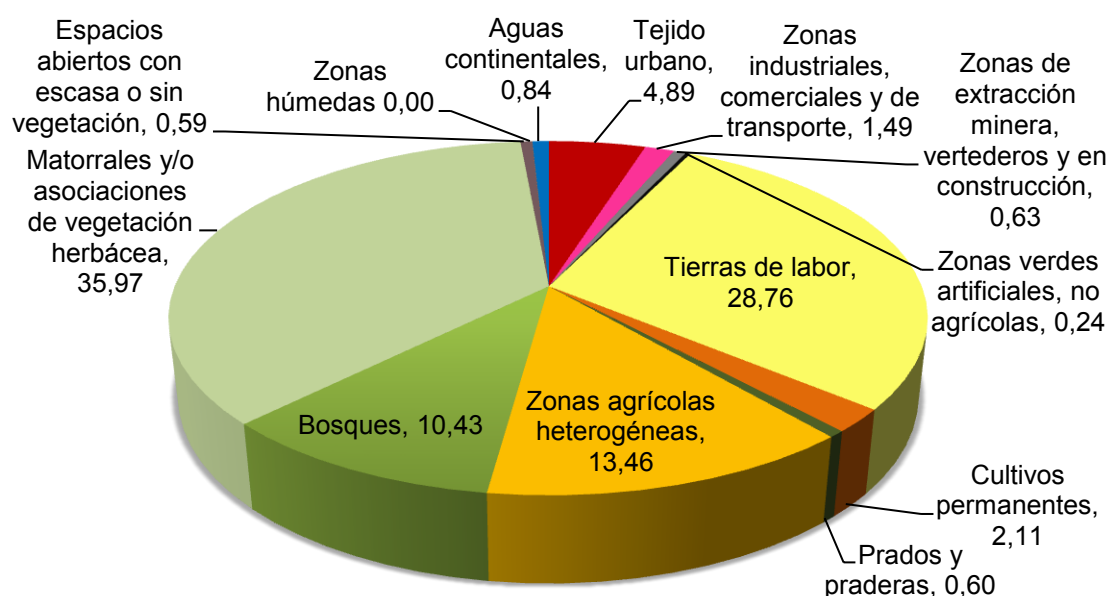


Figura 5-5. Relación de ocupación de los usos del suelo en la CM, a nivel 2 de CLC para el año 1982, en porcentajes.

En el año 1990 (figura 5-6) las superficies artificiales pasan a representar un 8% de toda la CM, estando constituidas, en su mayor parte, por el tejido urbano (5,18%).

Las zonas agrícolas experimentan un retroceso, ocupando algo más del 41%; tanto las tierras de labor como las zonas agrícolas heterogéneas y los prados y praderas decrecen, pero, sin embargo, los cultivos permanentes, representados por viñedos, frutales y olivares, aumentan, aunque mínimamente (+0,51%).

Las áreas forestales ocupan el 49% del territorio, experimentando un ligero crecimiento con respecto a 1982; este crecimiento se debe en exclusiva al aumento de los matorrales y asociaciones de vegetación herbácea; los bosques, sin embargo, experimentan un ligero descenso (-0,47%).

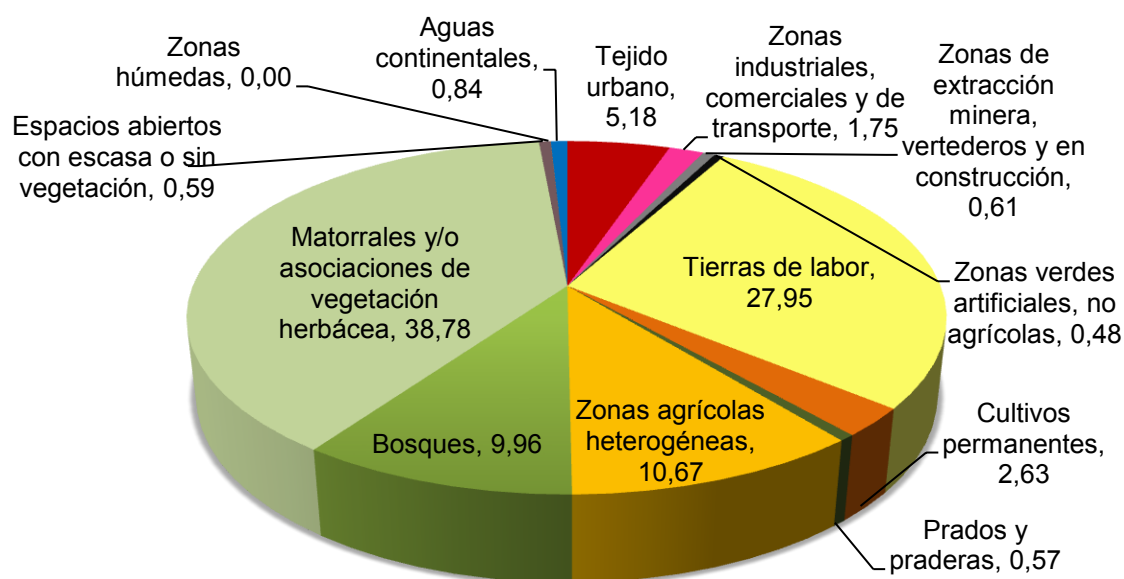


Figura 5-6. Relación de ocupación de los usos del suelo en la CM, a nivel 2 de CLC para el año 1990, en porcentajes.

Observando la figura 5-7, en el año 2000, las áreas artificiales registran ya casi el 12% de toda la CM. Este gran incremento con respecto a los años anteriores se experimenta tanto en el tejido urbano (+1,84%) como en las zonas industriales, comerciales y de transporte (+0,99%), en las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción (+0,65%) y en las zonas verdes artificiales, no agrícolas (+0,23%).

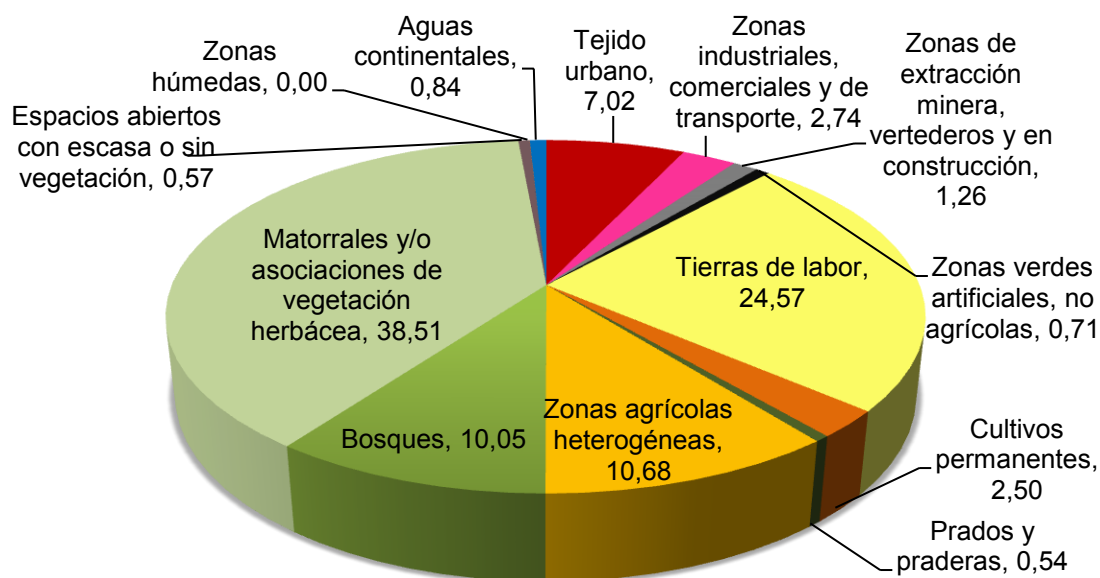


Figura 5-7. Relación de ocupación de los usos del suelo en la CM, a nivel 2 de CLC para el año 2000, en porcentajes.

Las zonas agrícolas continúan descendiendo y representan algo más del 38% del territorio. Mientras que las zonas agrícolas heterogéneas, los prados y

praderas y los cultivos permanentes se mantienen prácticamente estables, son las tierras de labor las que experimentan una fuerte caída (-3,38%).

En cuanto a las zonas forestales, constituyen algo más del 49%, manteniéndose, por tanto, prácticamente estables con respecto al año 1990; no obstante, el matorral y/o las asociaciones de vegetación herbácea disminuyen mínimamente, mientras que aumentan, también mínimamente, los bosques.

En el último año de estudio, la figura correspondiente al año 2006 (figura 5-8) detalla que las superficies artificiales representan ya más del 14% de la región, donde el tejido urbano ocupa el 8,20%, las zonas industriales, comerciales y de transporte, el 3,45%, las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción, el 1,79%, y las zonas verdes no artificiales, el 0,86%.

Las zonas agrícolas ocupan casi el 37%, con gran predominancia de las tierras de labor (23,05%), a pesar de que éstas siguen en pleno retroceso, seguidas por las zonas agrícolas heterogéneas (10,57%) y, en mucha menor medida, por los cultivos permanentes (2,42%) y los prados y praderas (0,55%).

Las zonas forestales descienden levemente; representan algo más del 48%. Descienden tanto los matorrales y/o asociaciones de vegetación herbácea, que representan el 37,49%, como los bosques, ocupando éstos el 9,77% de la superficie de la CM. Los espacios con escasa o sin vegetación puede decirse que se mantienen estables, ocupando un 0,58% del territorio.

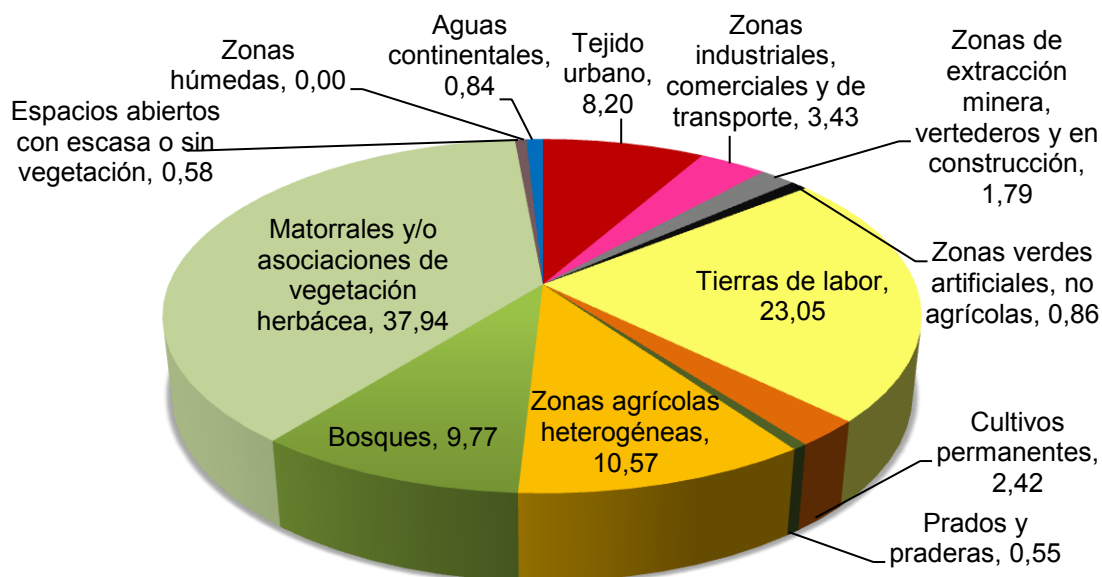


Figura 5-8. Relación de ocupación de los usos del suelo en la CM, a nivel 2 de CLC para el año 2006, en porcentajes.

Si comparamos el año 2006 con respecto al año inicial de estudio, 1982, se observa que las superficies artificiales se han multiplicado por dos, pasando de representar un 7,25% del territorio a representar el 14,28% de la región. Este crecimiento ha ido de la mano del descenso de las zonas agrícolas, que pasaron de un 44,93% a un 36,59% de la superficie total. Las zonas forestales se han mantenido más o menos constantes, si bien, experimentando un leve crecimiento, desde el 46,98% que ocupaban en 1982 hasta el 48,29% del año 2006.

El mayor retroceso lo encontramos en las tierras de labor, seguido de las zonas agrícolas heterogéneas. El crecimiento se refleja, en cambio, en el tejido urbano, que presenta, como se ha dicho, un significativo aumento: en 1982 contaba casi con el 5% del territorio de la CM y en 2006 ya supone el 8,20% del total. La acción constructora y urbanizadora va de la mano, en este periodo, con el desarrollo de las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción, que crecen hasta representar casi un 1,80% del territorio. Significativo resulta el repunte de estos usos a partir del año 2000, ligado a la legislación favorable de la ley del suelo de la Comunidad de Madrid (Ley 9/2001, de 17 julio); las canteras, cementeras y todas aquellas fábricas o explotaciones que producen materiales de construcción, viven un verdadero desarrollo, al igual que las zonas en construcción, asociadas a futuras urbanizaciones o polígonos comerciales y/o industriales. Parques y jardines crecen también, casi cuadruplicando su valor con respecto a 1982; el paisajismo artificial vive “su edad de oro”, con el fin de dotar de espacios verdes a la población urbana.

Esto explicaría gran parte de las pérdidas sufridas por las tierras agrícolas en estos decenios, que, por otra parte, contrastan con la estabilidad de los bosques e incluso el crecimiento, desde 1982, de los matorrales y/o asociaciones de vegetación herbácea, en relación éstos últimos con el abandono de las zonas agrícolas.

Para observar con más detalle los diferentes procesos que se han expuesto anteriormente, la figura 5-9 y la tabla 5-4, definidas ambas a nivel 3 de CLC, detallan la evolución que ha experimentado la CM en las cuatro fechas de estudio, diferenciando 30 usos del suelo presentes en la CM, en hectáreas, la primera, y en hectáreas y en porcentajes con respecto al total, la segunda.

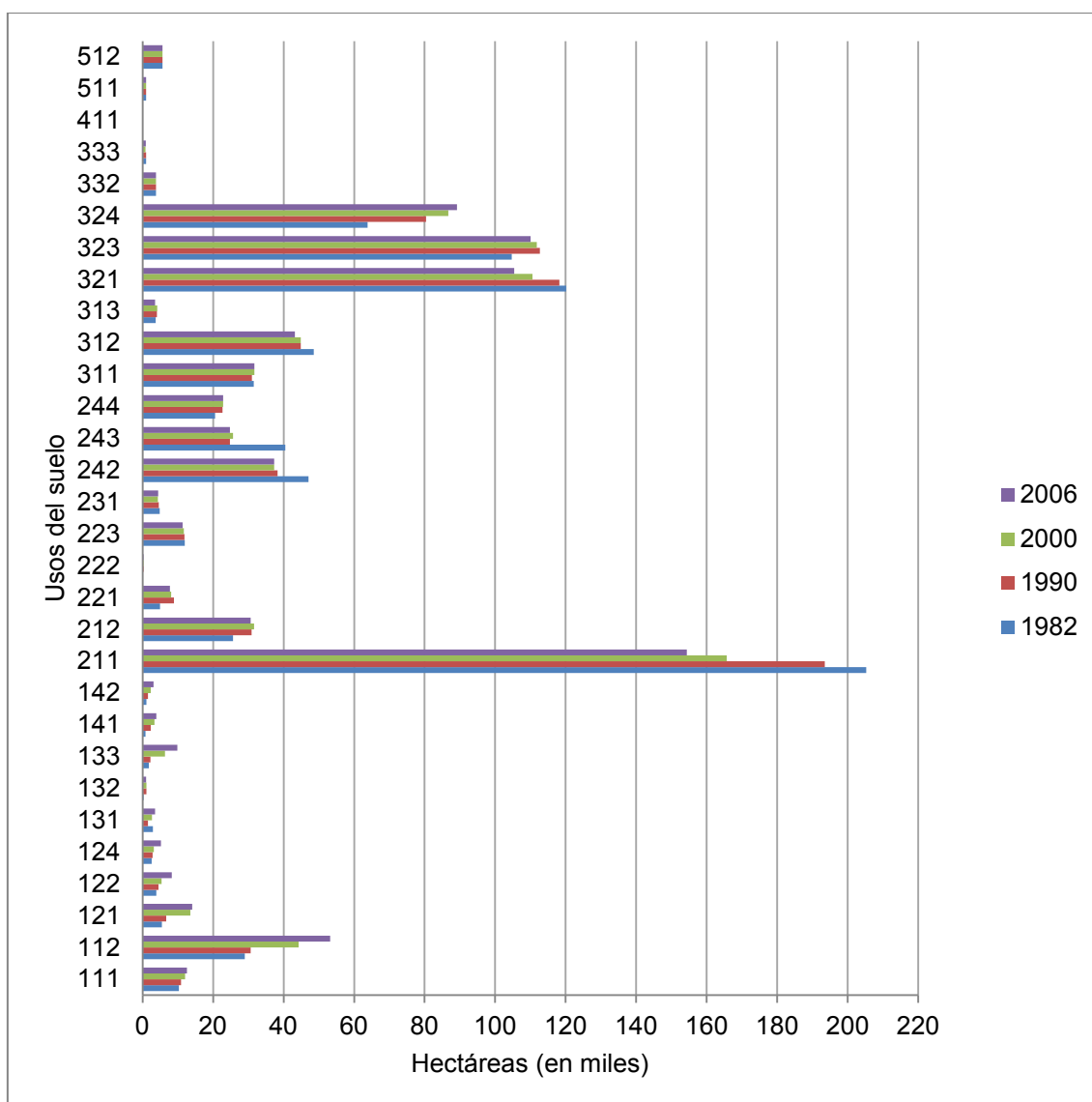


Figura 5-9. Evolución de los diferentes usos del suelo a nivel 3 de CLC, en miles de hectáreas, entre 1982, 1990, 2000 y 2006. La descripción de los códigos de los usos del suelo puede consultarse en el anexo 2.

Así, se puede observar que el crecimiento urbano que se ha producido en la región está asociado, en gran medida, con un tejido urbano discontinuo, el cual casi se ha duplicado, vinculado al fenómeno de segunda residencia y al deseo de vivir en lugares con mayor contacto con la naturaleza, en contraposición a los espacios con grandes densidades en altura de la ciudad. El crecimiento del tejido urbano continuo, sin embargo, ha crecido de forma más o menos lineal.

Las zonas industriales, comerciales y de transporte casi han triplicado su superficie, la mayor parte ligada a los sistemas viarios y al sector aeroportuario, dando así cobertura a la explosión urbanística señalada.

Las zonas en construcción, vinculadas a futuros desarrollos urbanísticos, comerciales, industriales o de transporte, se han cuádruplicado en estos años.

Parques, jardines, instalaciones deportivas y de ocio han cuádruplicado también las hectáreas de uso del suelo disponibles.

Por otra parte, las tierras de labor de secano, tradicionales en la región geográfica de Madrid, han vivido un retroceso gradual, ejemplificado en la pérdida de casi 51.000 ha. En cambio, el regadío ha ampliado a más de 5.000 ha. su capacidad territorial.

El cultivo de la vid ha aumentado significativamente, tal vez incentivado por la creación de una Denominación de Origen propia. En cuanto a los frutales, la región no tiene una fuerte tradición agrícola vinculada a este sector y, es por ello que la incidencia de su cultivo es de mínimo impacto, sin embargo, hay que decir que se ha pasado de 28 ha. en 1982 a más de 300 ha. en 2006. Más significativo son las explotaciones olivareras que, aunque no suponen más que el 1,42% de la superficie en 2006, se han mantenido estables. Prados y praderas, usados muchos de ellos para explotaciones ganaderas, mantienen también su superficie.

En cuanto a los mosaicos de cultivo, esta tipología de usos del suelo ha perdido cerca de 10.000 ha. Una merma, aún más significativa, se ha producido en los terrenos agrícolas con vegetación natural que han perdido más de 16.000 ha.

En cambio, los sistemas agroforestales han aumentado su territorio, a la par que los bosques de frondosas, vinculado a políticas conservacionistas y de repoblación.

Los bosques de coníferas y el bosque mixto presentan pérdidas no muy reseñables pero sí manifiestas y, que tal vez, marquen una tendencia de decrecimiento que se observa, a su vez, en los pastizales naturales, cuyas pérdidas se cifran en casi un 2%. Estables se mantienen los matorrales esclerófilos y crecen los matorrales boscosos de transición, incremento notable en más de un 3% en 2006 con respecto a la superficie con la que contaba en 1982.

El roquedo, los espacios con vegetación escasa y los humedales y zonas pantanosas se presentan sin variaciones significativas entre estos años. Lo mismo puede decirse de los cursos y láminas de agua.

Uso del suelo	1982	1990	2000	2006
Tejido urbano continuo	10.307	10.918	12.054	12.572
	1,28	1,36	1,50	1,57
Tejido urbano discontinuo	28.941	30.686	44.287	53.240
	3,61	3,82	5,52	6,63
Zonas industriales o comerciales	5.485	6.707	13.508	14.053
	0,68	0,84	1,68	1,75
Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	3.899	4.499	5.371	8.297
	0,49	0,56	0,67	1,03
Aeropuertos	2.572	2.829	3.142	5.204
	0,32	0,35	0,39	0,65
Zonas de extracción minera	2.922	1.559	2.700	3.514
	0,36	0,19	0,34	0,44
Escombreras y vertederos	326	1.101	1.112	971
	0,04	0,14	0,14	0,12
Zonas en construcción	1.796	2.218	6.332	9.876
	0,22	0,28	0,79	1,23
Zonas verdes urbanas	833	2.336	3.376	3.864
	0,10	0,29	0,42	0,48
Instalaciones deportivas y recreativas	1.060	1.507	2.332	3.061
	0,13	0,19	0,29	0,38
Tierras de labor en secano	205.276	193.462	165.652	154.364
	25,57	24,10	20,63	19,23
Terrenos regados permanentemente	25.620	30.934	31.632	30.642
	3,19	3,85	3,94	3,82
Viñedos	4.923	8.846	8.103	7.734
	0,61	1,10	1,01	0,96
Frutales	28	319	294	311
	0,00	0,04	0,04	0,04
Olivares	11.955	11.913	11.677	11.371
	1,49	1,48	1,45	1,42
Prados y praderas	4.818	4.594	4.335	4.454
	0,60	0,57	0,54	0,55
Mosaico de cultivos	47.016	38.260	37.281	37.282
	5,86	4,77	4,64	4,64
Terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural	40.488	24.747	25.651	24.780
	5,04	3,08	3,20	3,09
Sistemas agroforestales	20.577	22.660	22.821	22.808
	2,56	2,82	2,84	2,84
Bosques de frondosas	31.489	31.022	31.665	31.675
	3,92	3,86	3,94	3,95
Bosques de coníferas	48.531	44.824	44.866	43.232
	6,05	5,58	5,59	5,39

Uso del suelo	1982	1990	2000	2006
Bosque mixto	3.699	4.078	4.119	3.522
	0,46	0,51	0,51	0,44
Pastizales naturales	120.149	118.197	110.589	105.409
	14,97	14,72	13,78	13,13
Matorrales esclerófilos	104.723	112.705	111.816	110.054
	13,04	14,04	13,93	13,71
Matorral boscoso de transición	63.853	80.386	86.743	89.151
	7,95	10,01	10,81	11,11
Roquedo	3.807	3.785	3.785	3.754
	0,47	0,47	0,47	0,47
Espacios con vegetación escasa	957	957	809	865
	0,12	0,12	0,10	0,11
Humedales y zonas pantanosas	39	39	39	39
	0,00	0,00	0,00	0,00
Cursos de agua	1.024	1.024	1.024	1.018
	0,13	0,13	0,13	0,13
Láminas de agua	5.680	5.681	5.681	5.681
	0,71	0,71	0,71	0,71
Total	802.792	802.792	802.792	802.792
	100	100	100	100

Tabla 5-4. Superficie total, en hectáreas y en porcentajes, en los diferentes años de estudio a nivel 3 de CLC.

5.3.2 Cuantificación y localización de los cambios entre pares.

Una vez observada la trayectoria que ha experimentado la CM en estos años, se muestra en este apartado los cambios que se han sucedido en la región, siendo analizados mediante la comparación entre pares temporales.

Los análisis llevados a cabo se muestran, por tanto, en 4 sub-apartados, correspondientes con los 4 periodos que pueden diferenciarse: 1982-1990, 1990-2000, 2000-2006 y 1982-2006, este último con el fin de obtener un resultado global de periodo de estudio.

Los resultados aquí presentes están detallados a nivel 2 de CLC para todos los intervalos, salvo en el caso del periodo completo, 1982-2006, donde también se muestran cuantitativamente a nivel 3 de CLC. Si bien, en el anexo 3 pueden consultarse las matrices de tabulación cruzadas realizadas a nivel 3 de CLC para todos los periodos. Los mapas detallan las transiciones que se han dado en los diferentes años, así como las pérdidas y las ganancias que han sufrido, obteniendo de este modo una mayor claridad cartográfica de los cambios.

5.3.2.1 Cambios de usos del suelo entre 1982-1990

La matriz de tabulación cruzada para dicho periodo se muestra en la tabla 5-5. En ella se puede observar las categorías de usos del suelo, a nivel 2 de CLC, que han manifestado cambio y hacia qué otras categorías han transicionado, así como la persistencia que han experimentado, tanto en número de hectáreas como en porcentajes con respecto al total. También puede observarse la superficie total de cada uso del suelo en ambos años. Si se desea un mayor detalle puede consultarse el resultado de la tabulación cruzada para dicho periodo a nivel 3 de CLC que figura en el anexo 3.

Entre 1982 y 1990 permanecen estables tres categorías de usos del suelo: las zonas húmedas continentales, las aguas continentales y los espacios abiertos con poca o sin vegetación (éste último pierde 27 ha. y gana 5 ha. hacia y desde espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea, respectivamente, por lo que se puede considerar que permanece estable).

Las categorías pertenecientes a zonas agrícolas, especialmente las tierras de labor y las zonas agrícolas heterogéneas, son las que más transformaciones hacia otros usos han experimentado; de hecho, a nivel 2 de CLC, se registran cambios hacia todas las demás categorías, salvo hacia prados y praderas y las mencionadas anteriormente.

Los mayores cambios se registran en el paso de zonas agrícolas heterogéneas hacia espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea (este representa el 2,61% del cambio total) y hacia tierras de labor (2,51% del cambio total) y en el paso de tierras de labor hacia zonas agrícolas heterogéneas (2,37% del cambio total). Puede observarse, por tanto, que se produce un intercambio importante entre las zonas agrícolas heterogéneas y las tierras de labor.

A pesar de que se ha realizado una corrección previa, puede detectarse en la matriz que aún sigue permaneciendo algún que otro cambio incongruente, como pueden ser las 196 ha. que pasan de ser zonas urbanas (1.1) a zonas industriales, comerciales y de transporte (1.2). Los cambios cuyas hectáreas de cambio son pequeñas pueden deberse también a posibles errores relacionados con *slivers*, como por ejemplo, las 11 ha. que pasan de bosques (3.1) a tierras de labor (2.1). Hay que mencionar que los polígonos que se encontraban en el margen de la CM, lindando con otras provincias españolas, no se modificaron, debido a que, si posteriormente se quisiera utilizar dicho mapa para analizar también otras regiones, no se produjesen incoherencias en los límites provinciales; estas pequeñas hectáreas pueden deberse a esto también.

		1990													
		1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	4.1	5.1	T
1982	1.1	39.052 (4,86)	193 (0,02)	0 -	0 -	1 -	0 -	0 -	1 -	0 -	1 -	0 -	0 -	0 -	39.248 (4,88)
	1.2	0 -	11.955 (1,49)	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	11.955 (1,49)
	1.3	323 (0,04)	539 (0,07)	3.345 (0,42)	0 -	258 (0,03)	0 -	0 -	0 -	0 -	579 (0,07)	0 -	0 -	0 -	5.044 (0,63)
	1.4	133 (0,02)	21 -	0 -	1.739 (0,22)	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	1.893 (0,24)
	2.1	832 (0,10)	848 (0,11)	596 (0,07)	180 (0,22)	201.678 (25,12)	3.322 (0,41)	0 -	19.035 (2,37)	319 (0,04)	4.087 (0,51)	0 -	0 -	2 -	230.897 (28,75)
	2.2	0 -	7 -	36 -	0 -	140 (0,02)	14.562 (1,81)	0 -	1.569 (0,20)	0 -	592 (0,07)	0 -	0 -	0 -	16.905 (2,10)
	2.3	60 (0,01)	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	4.031 (0,50)	142 (0,02)	0 -	585 (0,07)	0 -	0 -	0 -	4.818 (0,60)
	2.4	577 (0,07)	94 (0,01)	393 (0,05)	223 (0,03)	20.170 (2,51)	3.064 (0,38)	0 -	60.037 (7,48)	2.572 (0,32)	20.951 (2,61)	0 -	0 -	0 -	108.081 (13,46)
	3.1	120 (0,01)	0 -	0 -	1.432 (0,18)	11 -	2 -	16 -	95 (0,01)	74.859 (9,32)	7.183 (0,89)	0 -	0 -	1 -	83.719 (10,41)
	3.2	507 (0,06)	378 (0,05)	509 (0,06)	269 (0,03)	2.138 (0,27)	127 (0,02)	546 (0,07)	4.790 (0,60)	2.174 (0,27)	277.283 (34,54)	5 -	0 -	0 -	288.726 (35,97)
	3.3	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	27 -	4.737 (0,59)	0 -	0 -	4.764 (0,59)
	4.1	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	39 -	0 -	39 -
	5.1	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	6.703 (0,83)	6.704 (0,83)
	T	41.604 (5,18)	14.036 (1,75)	4.878 (0,61)	3.842 (0,48)	224.396 (27,95)	21.077 (2,63)	4.594 (0,57)	85.668 (10,67)	79.924 (9,96)	311.288 (38,78)	4.742 (0,59)	39 -	6.705 (0,83)	802.792 (100)

Tabla 5-5. Matriz de tabulación cruzada entre los años 1982 y 1990, en hectáreas y en porcentajes con respecto al total (entre paréntesis), utilizando un tamaño de píxel de 50x50m. Categorías correspondientes al nivel 2 de CLC: 1.1: Zonas urbanas; 1.2: Zonas industriales, comerciales y de transporte; 1.3: Zonas de extracción minera, vertederos y en construcción; 1.4: Zonas verdes artificiales, no agrícolas; 2.1: Tierras de labor; 2.2: Cultivos permanentes; 2.3: Prados y praderas; 2.4: Zonas agrícolas heterogéneas; 3.1: Bosques; 3.2: Espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea; 3.3: Espacios abiertos con poca o sin vegetación; 4.1: Zonas húmedas continentales; 5.1: Aguas continentales.

En la tabla 5-6 se analizan las pérdidas, ganancias, cambio neto, intercambio y cambio total registrado entre 1982 y 1990. En las figuras 5-10 y 5-11 se detallan gráficamente las tres primeras.

Usos del suelo	P	G	C.N	I	C.T
Zonas urbanas	-196	2.551	2.356	392	2.747
Zonas industriales, comerciales y de transporte	1	2.081	2.080	1	2.081
Zonas de extracción minera, vertederos y en construcción	-1.700	1.534	-166	3.067	3.233
Zonas verdes artificiales	-154	2.104	1.949	309	2.258
Tierras de labor	-29.219	22.718	-6.501	45.436	51.937
Cultivos permanentes	-2.344	6.516	4.172	4.688	8.860
Prados y praderas	-787	563	-224	1.125	1.349
Zonas agrícolas heterogéneas	-48.044	25.631	-22.413	51.262	73.675
Bosques	-8.860	5.065	-3.795	10.130	13.925
Espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea	-11.443	34.006	22.563	22.886	45.449
Espacios abiertos con poca o sin vegetación	-27	5	-22	11	32
Zonas húmedas continentales	0	0	0	0	0
Aguas continentales	-1	2	1	3	4

Tabla 5-6. Pérdidas (P), ganancias (G), cambio neto (C.N), intercambio (I) y cambio total (C.T) para cada categoría estudiada, a nivel 2 de CLC, entre los años 1982 y 1990, en hectáreas. Las 196 hectáreas de pérdidas de las zonas urbanas pueden considerarse como un error, al igual que las ganancias y pérdidas de las aguas continentales.

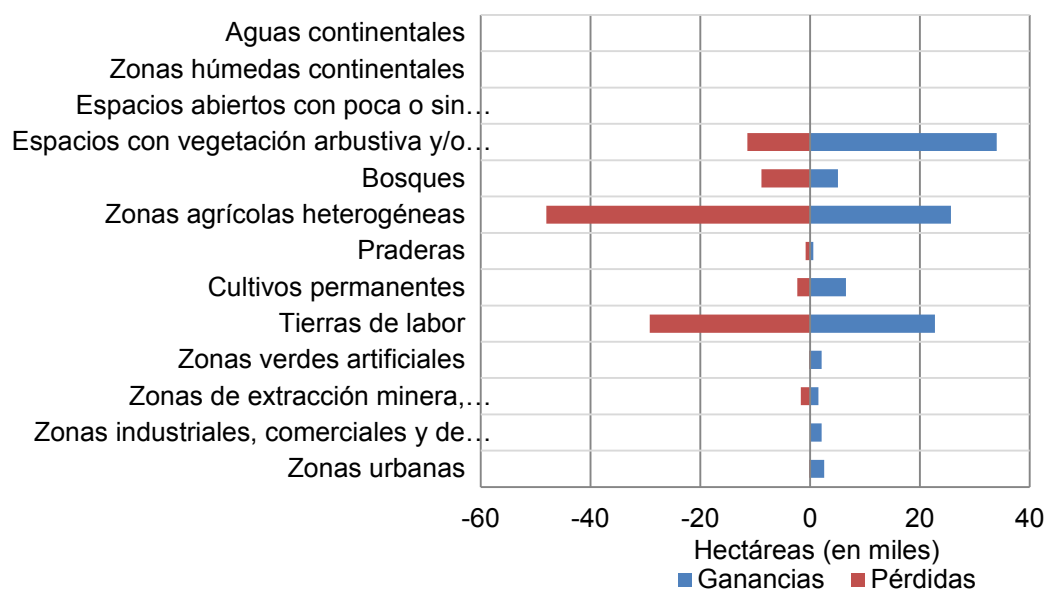


Figura 5-10. Ganancias, en azul, y pérdidas, en rojo, registradas para cada uno de los usos del suelo a nivel 2 de CLC, entre 1982 y 1990, en miles de hectáreas.

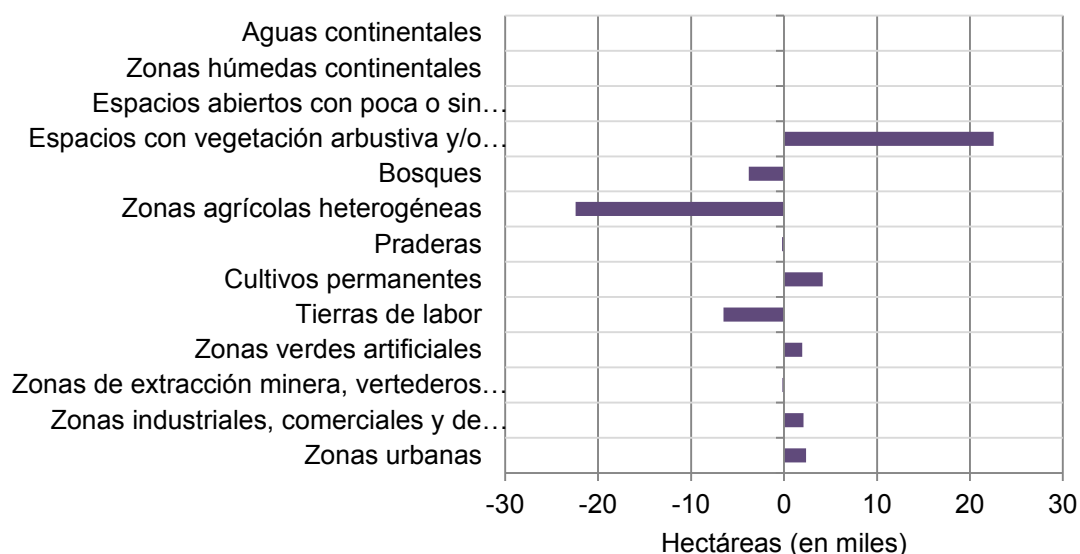


Figura 5-11. Cambio neto registrado para cada uno de los usos del suelo a nivel 2 de CLC, entre 1982 y 1990, en miles de hectáreas.

Los mayores cambios netos se han registrado en los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea, siendo éste el cambio más sobresaliente en clave positiva, con un aumento de su superficie de más de 20.000 ha.; el opuesto negativo y, prácticamente con las mismas hectáreas de cambio neto que el anterior, se encuentra en las zonas agrícolas heterogéneas. Ambos usos del suelo han sido bastante dinámicos durante estos años, ya que han registrado tanto pérdidas como ganancias por valores de miles de hectáreas.

Una de las categorías que han experimentado ganancias y pérdidas casi por igual han sido las tierras de labor, si bien su saldo neto es de -6.501 ha. Otros usos con similar evolución son las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción.

A excepción de los cultivos permanentes, los cuales presentan un cambio neto positivo de más de 4.000 ha., el aumento de la superficie se da en las categorías artificiales: en zonas verdes artificiales, en zonas industriales, comerciales y de transportes y, por supuesto, en zonas urbanas.

Las mayores pérdidas se presentan en las zonas agrícolas heterogéneas, seguidas de las tierras de labor; mientras que las mayores ganancias se registran en los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea. Los bosques presentan también una pérdida considerable de hectáreas.

A continuación se muestra con más detalle desde qué categorías (ganancias) y hacia qué categorías (pérdidas) han transicionado los usos del suelo que más cambios han experimentado, en cuanto al número de hectáreas.

Las figuras 5-12 y 5-13 muestran los dos usos del suelo que más pérdidas han experimentado, esto es, las zonas agrícolas heterogéneas y las tierras de labor.

Como puede observarse en la figura 5-12, en este periodo, las zonas agrícolas heterogéneas han perdido un gran número de hectáreas que han sido cedidas a los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea y a las tierras de labor y, en muy menor medida, a cultivos permanentes y bosques. Prácticamente la misma cantidad de hectáreas que ha perdido a favor de las tierras de labor, han sido ganadas a este mismo uso del suelo; así, son las tierras de labor las que mayor número de hectáreas proveen a las zonas agrícolas heterogéneas.

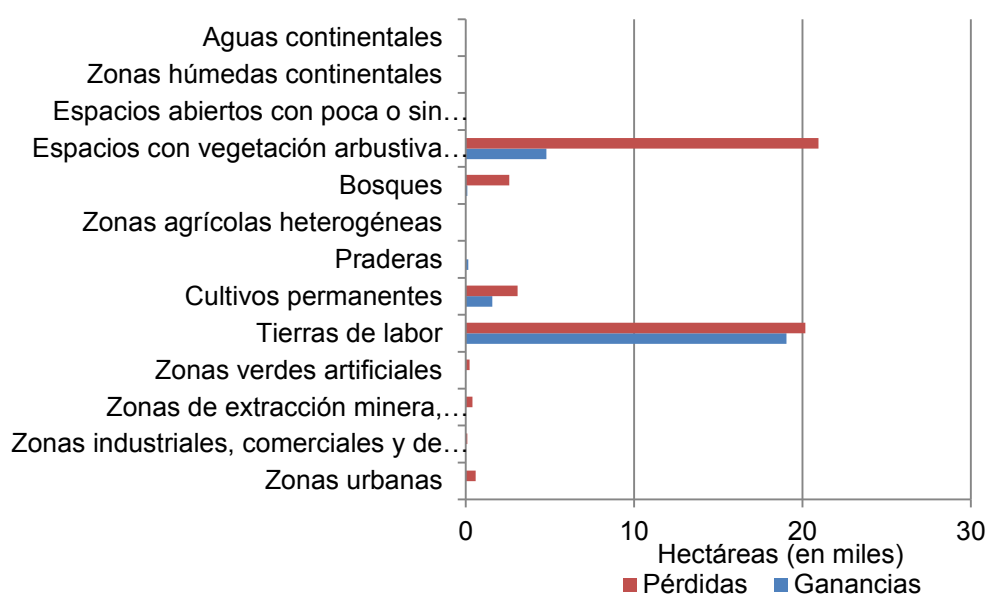


Figura 5-12. Pérdidas, en rojo, y ganancias, en azul, experimentadas en las zonas agrícolas heterogéneas entre 1982 y 1990 a nivel 2 de CLC, en miles de hectáreas.

Las tierras de labor (figura 5-13) en relación con las zonas agrícolas heterogéneas experimentan, como es obvio, la misma trayectoria comentada anteriormente pero en sentido contrario; esto es, tanto sus mayores ganancias como sus mayores pérdidas son registradas del cambio de hectáreas desde y hacia las zonas agrícolas heterogéneas, siendo algo mayores las ganancias que las pérdidas. Los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea, los cultivos permanentes y las áreas artificiales (zonas de extracción minera, vertederos y en construcción, zonas industriales y comerciales y zonas urbanas) son otros usos del suelo que restan hectáreas a las tierras de labor. Ganancias, aunque muy escasas, experimenta también desde los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea.

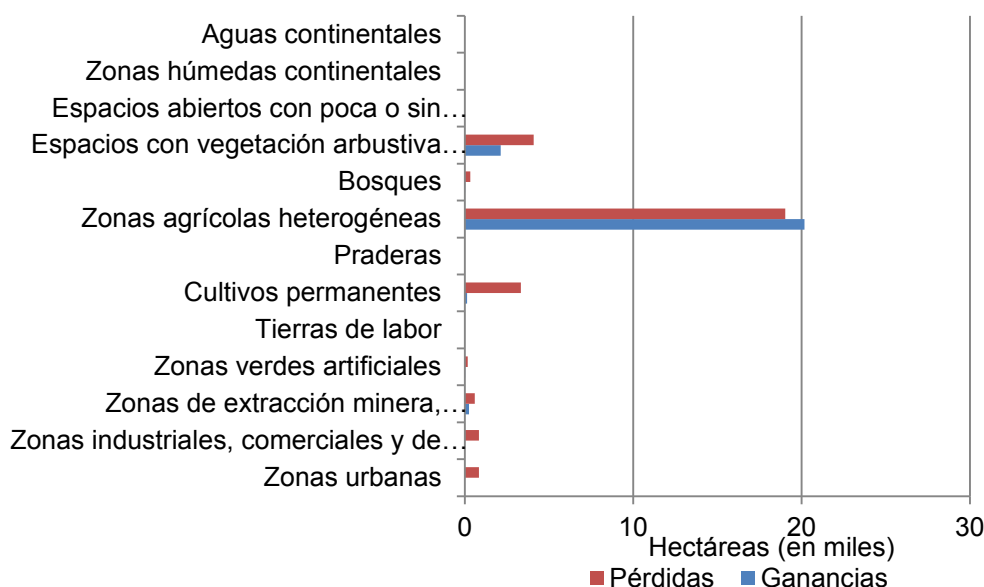


Figura 5-13. Pérdidas, en rojo, y ganancias, en azul, experimentadas en las tierras de labor entre 1982 y 1990 a nivel 2 de CLC, en miles de hectáreas.

En cuanto a los usos del suelo que poseen las mayores ganancias, éstos se corresponden con los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea, las zonas agrícolas heterogéneas y las tierras de labor; estos dos últimos ya están representados en las figuras mencionadas anteriormente, por lo que aquí se muestran los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea (figura 5-14) y el uso siguiente que más ganancias ha experimentado en este periodo, esto es, los cultivos permanentes (figura 5-15).

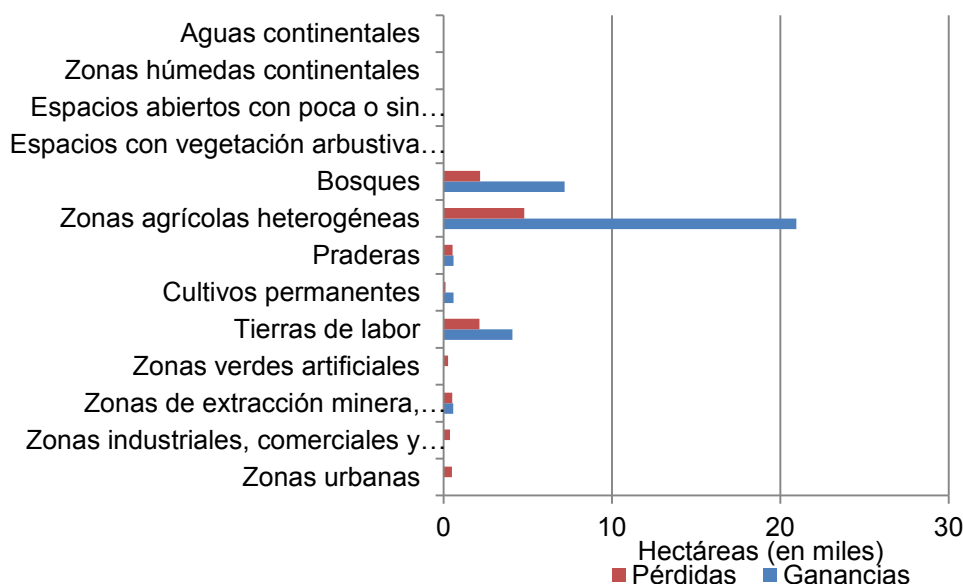


Figura 5-14. Pérdidas, en rojo, y ganancias, en azul, experimentadas en los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea entre 1982 y 1990 a nivel 2 de CLC, en miles de hectáreas.

La gran mayoría de las ganancias observadas en los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea se han sucedido en detrimento de las zonas agrícolas heterogéneas. En menor medida, se debe también a la adquisición de tierras que antes estaban cubiertas por bosques y por tierras de labor. Las pérdidas que ha experimentado este uso del suelo han sido causadas por los mismos usos del suelo mencionados anteriormente, aunque la sustracción por su parte, ha sido menor. Dichas categorías, por tanto, se han intercambiado entre sí.

En cuanto a los cultivos permanentes, éstos han cursado cambios únicamente desde y a partir de tres categorías de usos del suelo: tierras de labor, zonas agrícolas heterogéneas y espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea. Las ganancias han sido obtenidas, casi en su totalidad, a través de pérdidas en las tierras de labor y en las zonas agrícolas heterogéneas, mientras que las pérdidas han estado definidas por la ocupación de zonas agrícolas heterogéneas y espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea.

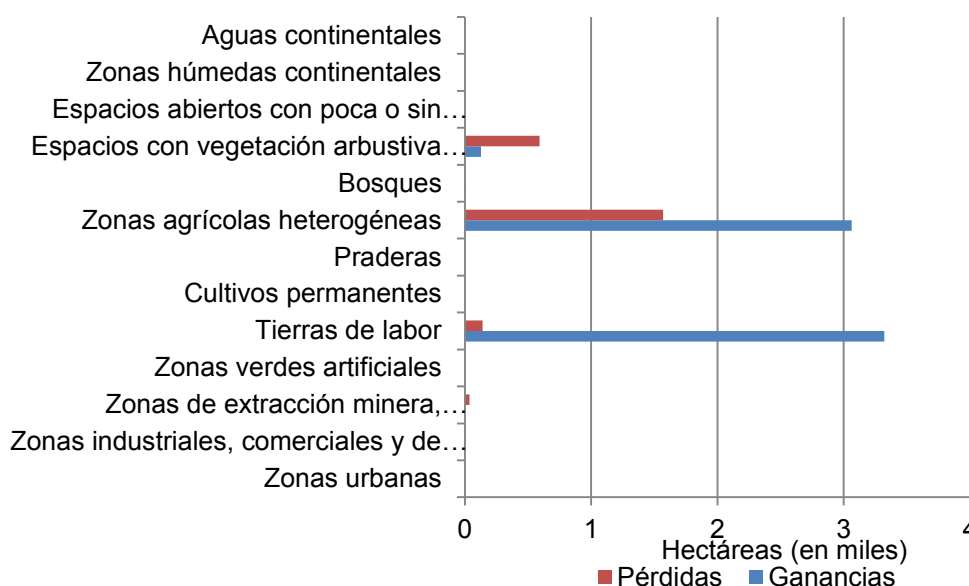


Figura 5-15. Pérdidas, en rojo, y ganancias, en azul, experimentadas en los cultivos permanentes entre 1982 y 1990 a nivel 2 de CLC, en miles de hectáreas.

La localización de los cambios de usos del suelo y de las ganancias y pérdidas experimentadas en este periodo está detallada en las figuras 5-16 y 5-17, respectivamente. En la figura 5-16 se muestra la base cartográfica BCN500, correspondiente al año 2011, con el objetivo de poder señalar mejor las transiciones que se han dado.

Puede observarse que los cambios están repartidos prácticamente por toda la totalidad de la CM y, muy especialmente, al sur y sureste de la región (Torrejón de la Calzada, Ciempozuelos, etc.), donde los cambios más numerosos se han registrado desde zonas agrícolas heterogéneas y tierras de labor hacia matorrales.

Los cambios hacia usos artificiales no son numerosos y se concentran en torno a la ciudad de Madrid y a lo que hoy son las carreteras A-2 y A-42 y A-6.

Al norte predominan los cambios desde bosques a espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea.

Destaca una gran mancha al oeste de la ciudad de Madrid que se corresponde con la Casa de Campo; dicha área se ha mantenido estable prácticamente hasta nuestros días, sin embargo, en 1982, está clasificada como bosque y espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea y, a partir de 1990, como zonas verdes artificiales, incluyéndose la Casa de Campo como parque urbano.

Hay que señalar que algunas grandes manchas con transiciones desde tierras de labor a zonas agrícolas heterogéneas y desde zonas agrícolas heterogéneas a tierras de labor pueden deberse a errores, ya que el mapa de 1982 fue realizado con diferente metodología y leyenda temática que los mapas CLC y puede haber discrepancias en relación con los diferentes criterios de definición sobre el uso de las categorías señaladas, a pesar de las correcciones llevadas a cabo en el proceso de generalización.

MAPA EN DIN-A3

(Ver Carpeta “Mapas”)

Figura 5-16. Localización de los cambios de usos del suelo registrados entre los años 1982 y 1990 en la Comunidad de Madrid, a nivel 2 de CLC.

MAPA EN DIN-A3

(Ver Carpeta “Mapas”)

Figura 5-17. Localización de las pérdidas y de las ganancias de usos del suelo registradas entre los años 1982 y 1990 en la Comunidad de Madrid, a nivel 2 de CLC.

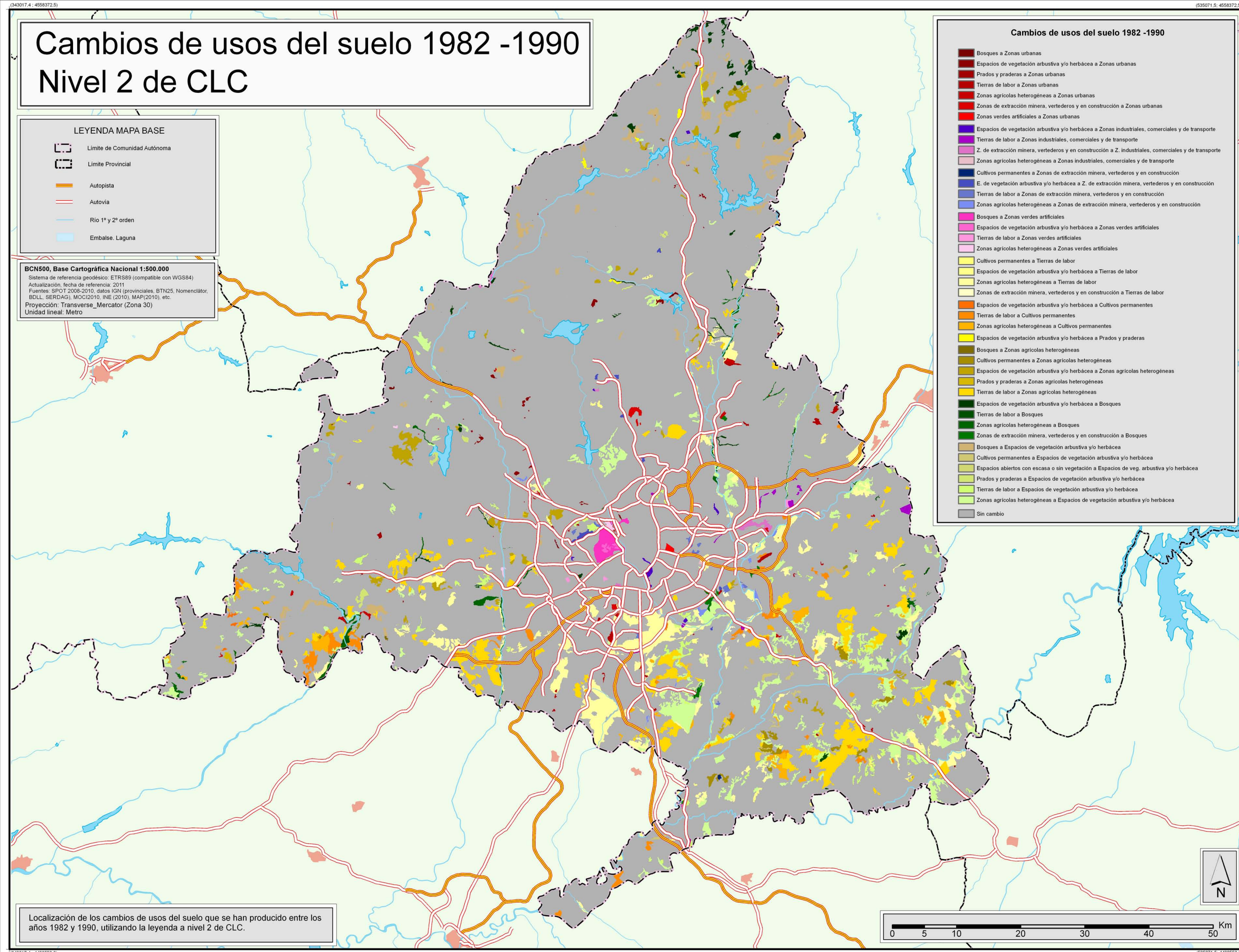
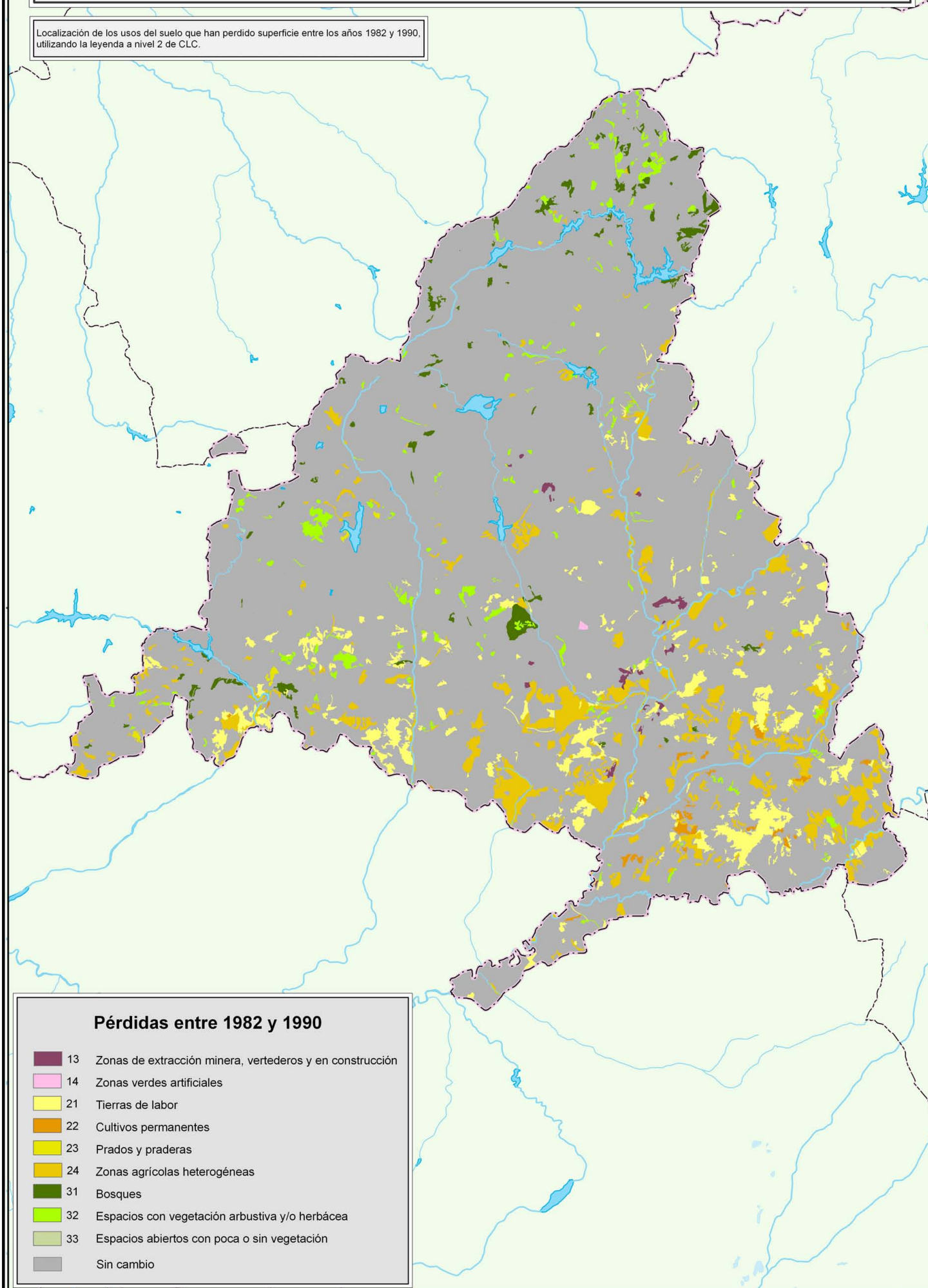


Figura 5-16. Localización de los cambios de usos del suelo registrados entre los años 1982 y 1990 en la Comunidad de Madrid, a nivel 2 de CORINE Land Cover.

Pérdidas de usos del suelo entre 1982 y 1990 Nivel 2 de CLC

Localización de los usos del suelo que han perdido superficie entre los años 1982 y 1990, utilizando la leyenda a nivel 2 de CLC.



Ganancias de usos del suelo entre 1982 y 1990 Nivel 2 de CLC

Localización de los usos del suelo que han ganado superficie entre los años 1982 y 1990, utilizando la leyenda a nivel 2 de CLC.

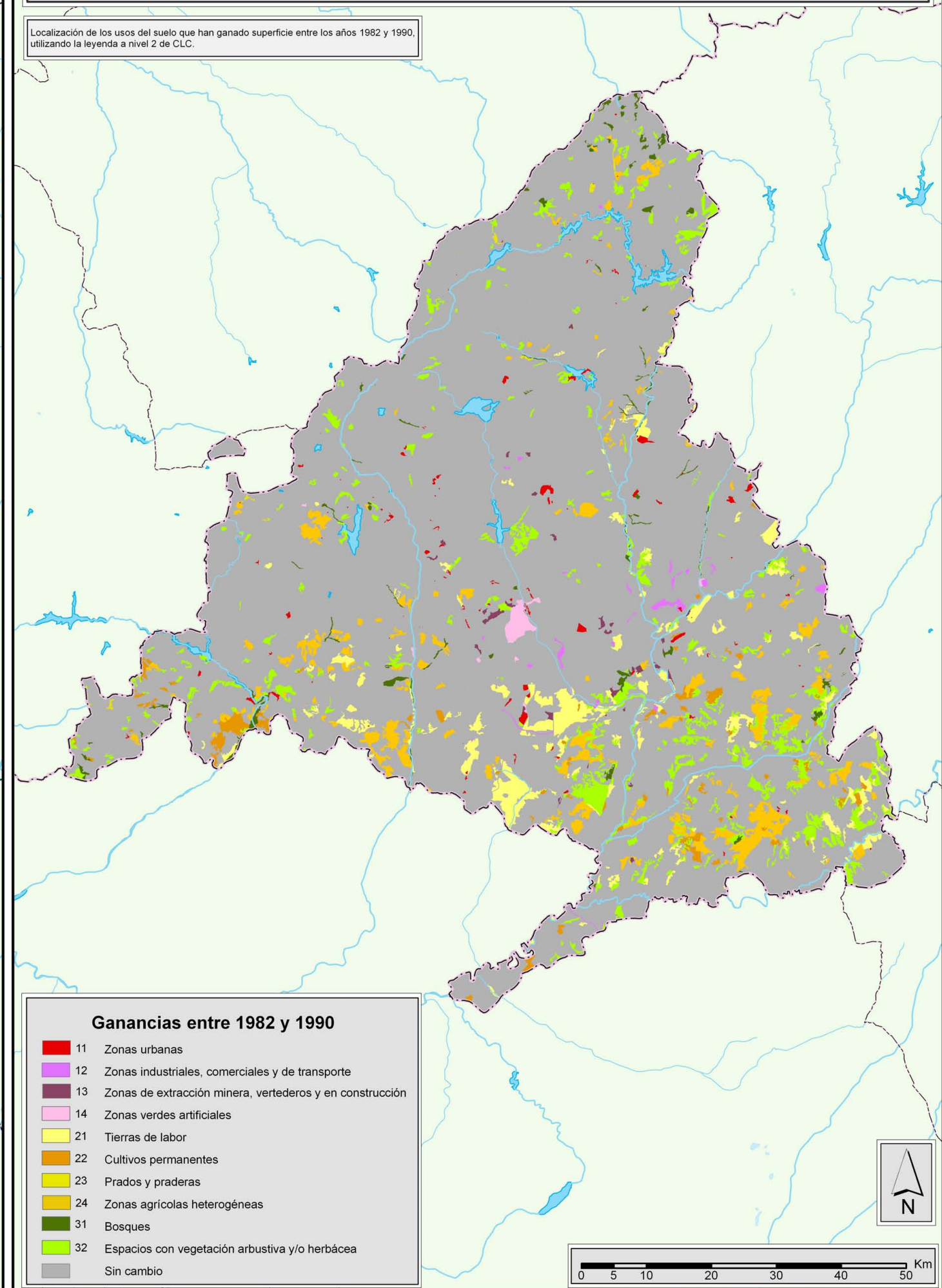


Figura 5-17. Localización de las pérdidas y de las ganancias de usos del suelo registradas entre los años 1982 y 1990 en la Comunidad de Madrid, a nivel 2 de CORINE Land Cover.

5.3.2.2 Cambios de usos del suelo entre 1990-2000

La matriz de tabulación cruzada para este periodo se muestra en la tabla 5-7. En ella se observan las categorías de usos del suelo, a nivel 2 de CLC, que han experimentado cambio y hacia y desde qué otras categorías han transicionado, tanto en número de hectáreas como en porcentajes con respecto al total. También puede observarse la superficie total de cada uso del suelo en ambos años.

Un mayor detalle de las transiciones puede verse en el anexo 3 donde figura la matriz de tabulación cruzada realizada para este periodo a nivel 3 de CLC.

La tabla 5-8 muestra las pérdidas, ganancias, intercambio, cambio neto y cambio total que se ha dado en cada uno de los usos del suelo a nivel 2 de CLC. Una mejor visualización de los procesos acontecidos en las dos primeras y del cambio neto, se plasma las figuras 5-18 y 5-19.

Entre los años 1990 y 2000, los mayores cambios se han producido en las tierras de labor y en los espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea, los cuales han registrado las mayores pérdidas (las primeras han perdido 28.886 ha. y las segundas, 14.743 ha.) y han transicionado prácticamente a cada una de las categorías de estudio. Las mayores cantidades de cambio se han producido desde las tierras de labor y hacia los espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea (1,55% respecto del total), zonas urbanas (0,71%) y zonas de extracción minera, vertederos y en construcción (0,71%).

Muy por debajo, en cuanto a las pérdidas registradas, se encuentran las pérdidas de las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción (-3.373 ha.), las zonas agrícolas heterogéneas (-2.868 ha.), los bosques (-1.506 ha.) y los cultivos permanentes (-1.026 ha.).

En cuanto a las ganancias, las dos categorías que más ganan en este periodo son las zonas urbanas (+14.743 ha.) y, muy de cerca, los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea (+12.614 ha.). Como puede observarse en la figura 5-18, esta categoría es la que presenta las mayores pérdidas y las mayores ganancias, por lo que experimenta grandes intercambios.

En cuanto al cambio neto, son las tierras de labor y las zonas urbanas las que presentan los valores más altos, la primera con símbolo negativo (-27.112 ha.) y la segunda con símbolo positivo (+14.737 ha.). Tal y como muestra la figura 5-19, son más numerosas y más intensas las categorías que presentan un cambio neto positivo que las que presentan un cambio neto negativo.

Cambios de usos del suelo y simulación de escenarios en la Comunidad de Madrid

		2000													
		1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	4.1	5.1	T
1990	1.1	41.598 (5,18)	6 (0,00)	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	41.604 (5,18)
	1.2	105 (0,01)	13.928 (1,73)	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	14.036 (1,74)
	1.3	1.818 (0,23)	665 (0,08)	1.505 (0,19)	430 (0,05)	173 (0,02)	0 -	0 -	0 -	0 -	287 (0,04)	0 -	0 -	0 -	4.878 (0,61)
	1.4	77 (0,01)	11 -	0 -	3.755 (0,47)	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	3.842 (0,48)
	2.1	5.711 (0,71)	5.390 (0,67)	5.660 (0,71)	487 (0,06)	195.510 (24,35)	0 -	0 -	2.252 (0,28)	137 (0,02)	9.238 (1,15)	12 -	0 -	0 -	224.396 (27,95)
	2.2	143 (0,02)	12 -	165 (0,02)	0 -	97 (0,01)	20.052 (2,50)	0 -	11 -	0 -	599 (0,07)	0 -	0 -	0 -	21.077 (2,62)
	2.3	187 (0,02)	2 -	0 -	0 -	0 -	0 -	4.335 (0,54)	0 -	40 -	30 -	0 -	0 -	0 -	4.594 (0,56)
	2.4	657 (0,08)	114 (0,01)	887 (0,11)	26 -	13 -	0 -	0 -	82.799 (10,31)	68 (0,01)	1.104 (0,14)	0 -	0 -	0 -	85.668 (10,66)
	3.1	173 (0,02)	31 -	34 -	66 (0,01)	0 -	0 -	0 -	1 -	78.418 (9,77)	1201 (0,15)	0 -	0 -	0 -	79.924 (9,95)
	3.2	5.872 (0,73)	1.862 (0,23)	1.888 (0,24)	944 (0,12)	1.491 (0,19)	20 -	0 -	691 (0,09)	1.987 (0,25)	296.535 (36,94)	5 -	0 -	0 -	311.288 (38,79)
	3.3	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	156 (0,02)	4.582 (0,57)	0 -	0 -	4.742 (0,59)
	4.1	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	39 -	0 -	39 -
	5.1	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	6.705 (0,84)	6.705 (0,84)
	T	56.341 (7,02)	22.021 (2,74)	10.143 (1,26)	5.708 (0,71)	197.284 (24,57)	20.073 (2,50)	4.335 (0,54)	85.753 (10,68)	80.650 (10,05)	309.149 (38,51)	4.593 (0,57)	39 -	6.705 (0,84)	802.792 (100)

Tabla 5-7. Matriz de tabulación cruzada entre los años 1990 y 2000, en hectáreas y en porcentajes con respecto al total (entre paréntesis), utilizando un tamaño de píxel de 50x50m. Categorías correspondientes al nivel 2 de CLC: 1.1: Zonas urbanas; 1.2: Zonas industriales, comerciales y de transportes; 1.3: Zonas de extracción minera, vertederos y en construcción; 1.4: Zonas verdes artificiales, no agrícolas; 2.1: Tierras de labor; 2.2: Cultivos permanentes; 2.3: Prados y praderas; 2.4: Zonas agrícolas heterogéneas; 3.1: Bosques; 3.2: Espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea; 3.3: Espacios abiertos con poca o sin vegetación; 4.1: Zonas húmedas continentales; 5.1: Aguas continentales.

Usos del suelo	P	G	C.N	I	C.T
Zonas urbanas	-6	14.743	14.737	12	14.749
Zonas industriales, comerciales y de transporte	-108	8.093	7.985	215	8.200
Zonas de extracción minera, vertederos y en construcción	-3.373	8.638	5.265	6.746	12.010
Zonas verdes artificiales	-88	1.953	1.865	175	2.040
Tierras de labor	-28.886	1.774	-27.112	3.548	30.660
Cultivos permanentes	-1.026	22	-1.004	44	1.048
Prados y praderas	-259	0	-259	0	259
Zonas agrícolas heterogéneas	-2.869	2.954	85	5.737	5.822
Bosques	-1.506	2.232	726	3.011	3.737
Espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea	-14.753	12.614	-2.140	25.227	27.367
Espacios abiertos con poca o sin vegetación	-161	12	-149	24	172
Zonas húmedas continentales	0	0	0	0	0
Aguas continentales	0	0	0	0	0

Tabla 5-8. Pérdidas (P), ganancias (G), cambio neto (C.N), intercambio (I) y cambio total (C.T) para cada categoría estudiada, a nivel 2 de CLC, entre los años 1990 y 2000, en hectáreas. Las 6 hectáreas de pérdidas de las zonas urbanas pueden considerarse como un error.

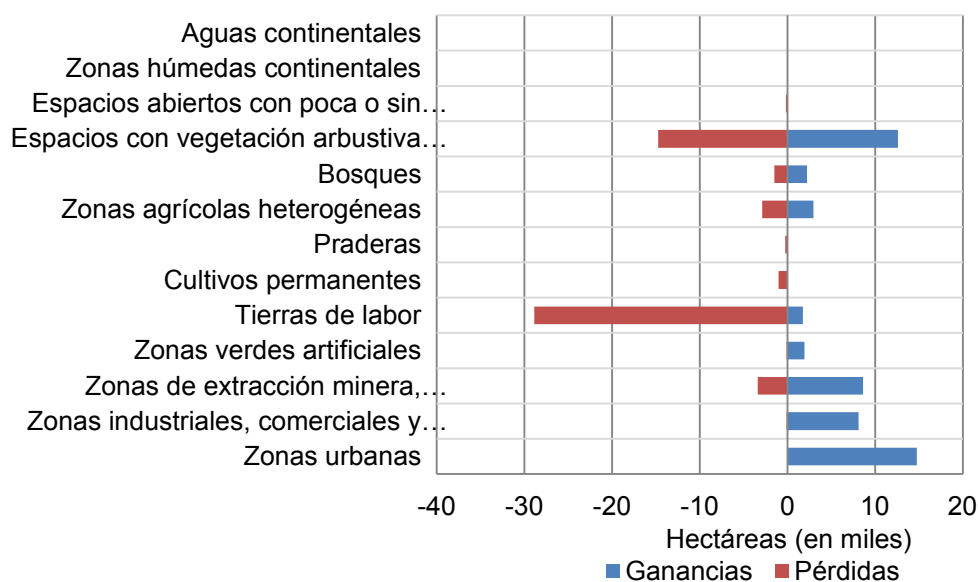


Figura 5-18. Ganancias, en azul, y pérdidas, en rojo, registradas para cada uno de los usos del suelo a nivel 2 de CLC, entre 1990 y 2000, en miles de hectáreas.

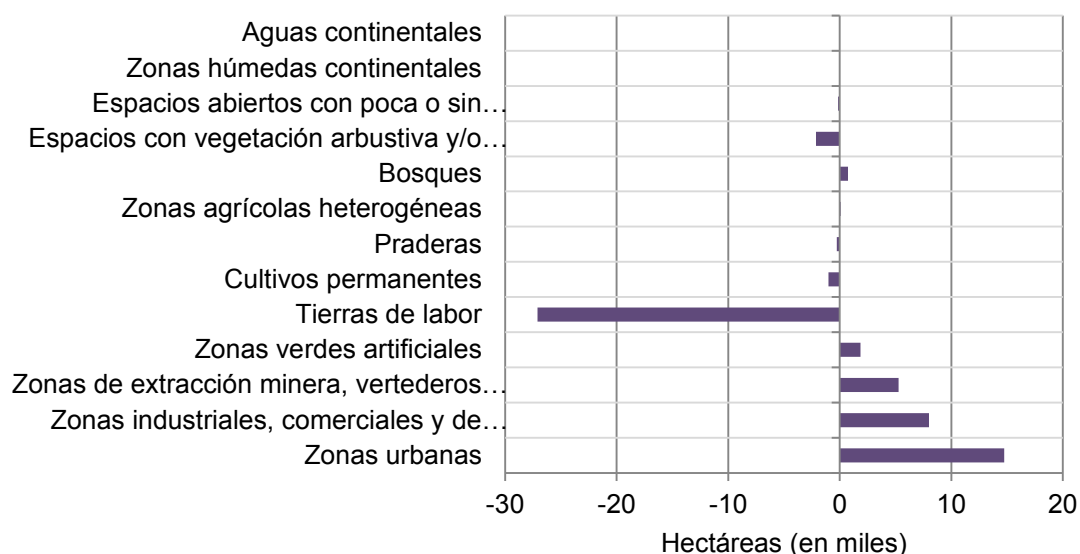


Figura 5-19. Cambio neto registrado para cada uno de los usos del suelo a nivel 2 de CLC, entre 1990 y 2000, en miles de hectáreas.

Estables permanecen las categorías pertenecientes a humedales y aguas continentales, y prácticamente estables las correspondientes a cultivos permanentes, prados y praderas y espacios abiertos con poca o sin vegetación.

A continuación, se muestra con más detalle desde qué categorías (ganancias) y hacia qué categorías (pérdidas) han transicionado los usos del suelo que más cambios han experimentado en cuanto al número de hectáreas entre 1990 y 2000. Como se ha visto previamente, los dos usos que más pérdidas han registrado se corresponden con las tierras de labor y los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea y se presentan en la figuras 5-20 y 5-21, respectivamente.

Los dos usos que más ganancias registran se corresponden con las zonas urbanas (figura 5-22) y con los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea; dado que este último está representado en la figura 5-21, se presenta aquí el tercer uso con más ganancias, esto es, las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción (figura 5-23).

Como se ha observado, entre 1990 y 2000, las tierras de labor han experimentado grandes pérdidas. Este uso del suelo ha sido sustituido, en su mayor parte, por espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea y, en menor medida, por zonas urbanas, zonas de extracción minera, vertederos y en construcción y zonas industriales, comerciales y de transporte. Experimenta leves ganancias, casi exclusivamente, a partir de espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea.

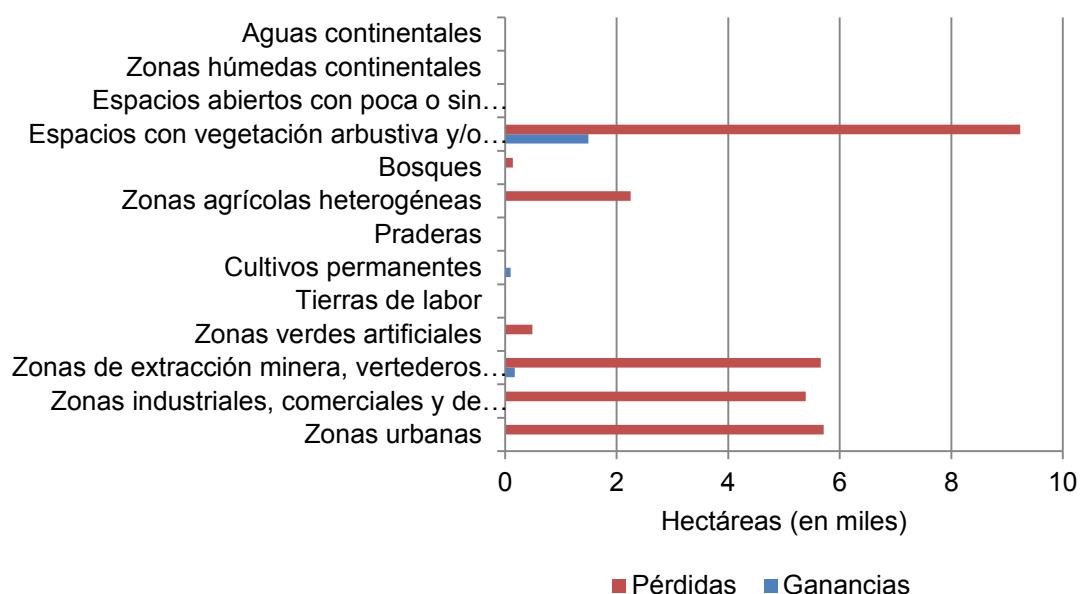


Figura 5-20. Pérdidas, en rojo, y ganancias, en azul, experimentadas en las tierras de labor entre 1990 y 2000 a nivel 2 de CLC, en miles de hectáreas.

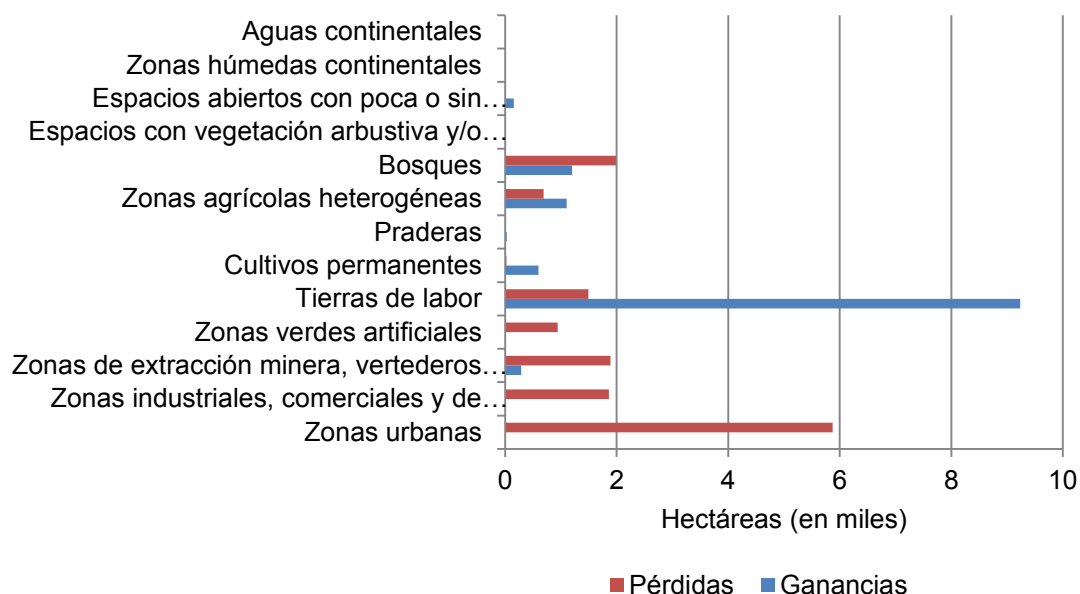


Figura 5-21. Pérdidas, en rojo, y ganancias, en azul, experimentadas en los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea entre 1990 y 2000 a nivel 2 de CLC, en miles de hectáreas.

En cuanto a los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea, éstos han sido sustituidos, en su mayor parte, por zonas urbanas y, en menor medida, por bosques, zonas de extracción minera, vertederos y en construcción, zonas industriales, comerciales y de transporte e, incluso, por tierras de labor. La práctica totalidad de la ganancia que ha experimentado se ha dado a partir de

las tierras de labor; también, pero de manera mucho más tenue, a partir de bosques, zonas agrícolas heterogéneas y cultivos permanentes. Es la intensidad de ganancia experimentada a partir de las tierras de labor la que hace que este uso del suelo tenga también el segundo puesto, en cuanto a ganancias, en este periodo de estudio.

Las zonas urbanas registran las mayores ganancias en este periodo. Como puede observarse en la figura 5-22, este uso del suelo únicamente experimenta ganancias y consigue aumentar su superficie a partir de la pérdida de hectáreas de prácticamente todos los usos del suelo presentes a nivel 2 de CLC. Son los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea y las tierras de labor los usos del suelo que más hectáreas ceden a las zonas urbanas; bastante menos cantidad ceden las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción y las zonas agrícolas heterogéneas.

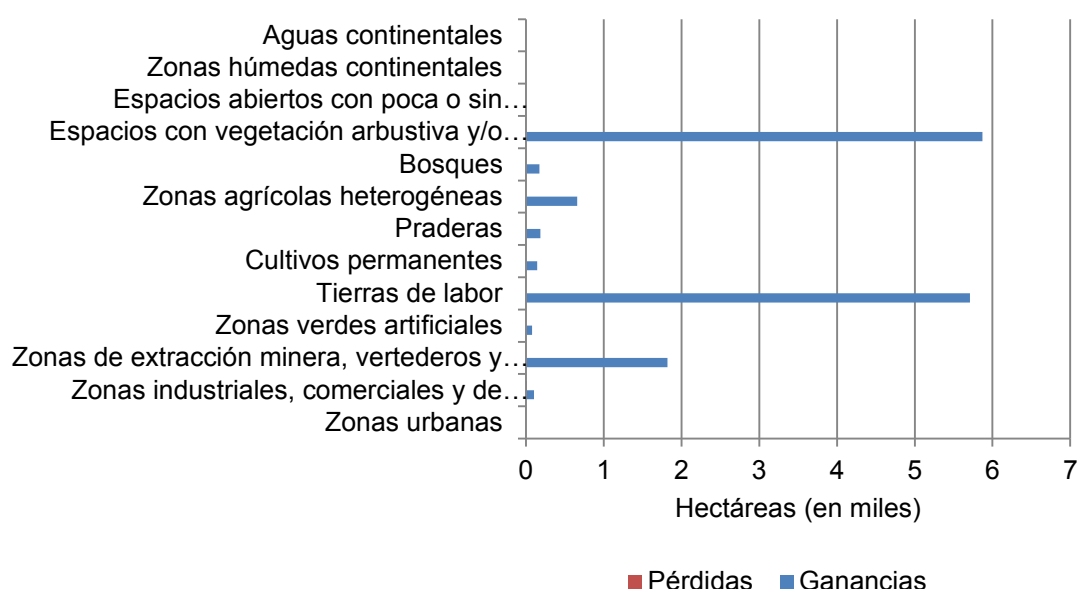


Figura 5-22. Pérdidas, en rojo, y ganancias, en azul, experimentadas en las zonas urbanas entre 1990 y 2000 a nivel 2 de CLC, en miles de hectáreas.

Las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción (figura 5-23) experimentan tanto ganancias como pérdidas. Éstas han sido sustituidas por zonas urbanas, zonas industriales, comerciales y de transporte, zonas verdes artificiales y, en menor medida, por espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea, e incluso por tierras de labor. Las ganancias han sido más numerosas que las pérdidas y éstas se han llevado a cabo, de manera intensa, a partir de las tierras de labor y, en menor medida, a partir de espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea y zonas agrícolas heterogéneas.

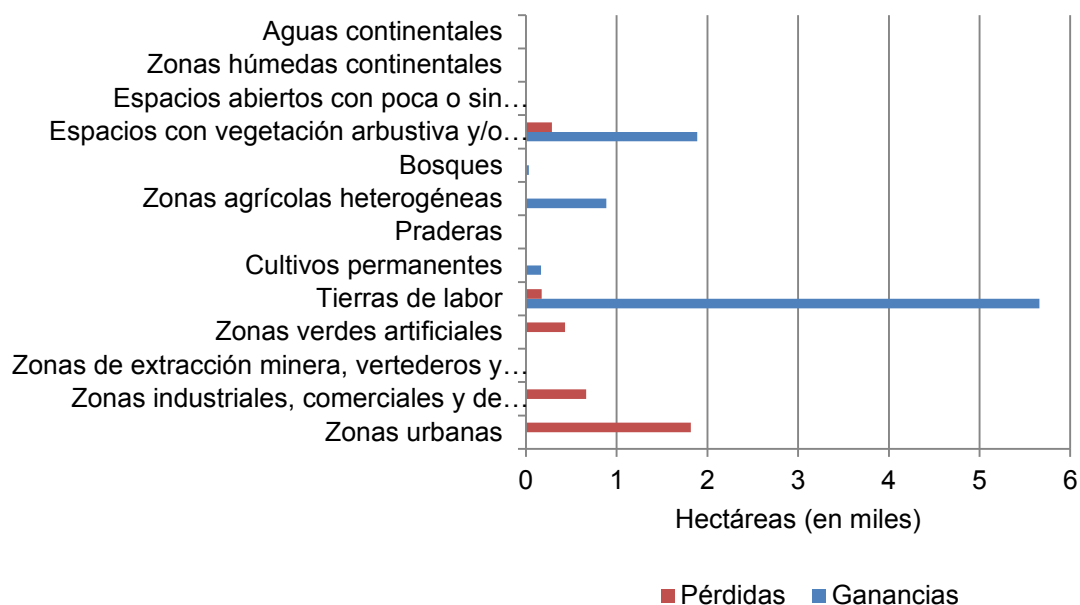


Figura 5-23. Pérdidas, en rojo, y ganancias, en azul, experimentadas en las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción entre 1990 y 2000 a nivel 2 de CLC, en miles de hectáreas.

En cuanto a la localización de los cambios de usos del suelo en este periodo puede observarse, en las figuras 5-24 y 5-25, la gran concentración de manchas en torno a la metrópoli madrileña (algunas de tamaño considerable como las que se encuentran en los alrededores de Pozuelo, Alcobendas, Rivas Vacia-Madrid, Getafe Norte o Alcorcón), así como alrededor de la red principal de carreteras (como las localizadas en Guadarrama, Alcalá de Henares, San Martín de la Vega o Arroyomolinos), las cuales han experimentado transiciones desde tierras de labor y, en menor medida, desde espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea hacia usos artificiales, predominando entre ellos, los usos urbanos, seguidos de los usos industriales, comerciales y de transporte, localizados estos últimos con mayor predominancia junto a las carreteras A-2, A-4 y A-42.

Destaca una gran mancha localizada al noreste de la metrópoli correspondiente con la ampliación del aeropuerto de Barajas, la cual está representada como zonas en construcción. Subrayar también las pequeñas manchas al noroeste de la región (Becerril de la Sierra, Moralarzar, Collado Mediano) que se corresponden con nuevos tejidos urbanos de forma dispersa localizados en la Sierra de Madrid. Asimismo, pueden observarse numerosas manchas repartidas principalmente al suroeste y al noreste de la región que han pasado a ser espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea debido al abandono de las tierras de labor.

MAPA EN DIN-A3

(Ver Carpeta “Mapas”)

Figura 5-24. Localización de los cambios de usos del suelo registrados entre los años 1990 y 2000 en la Comunidad de Madrid, a nivel 2 de CLC.

MAPA EN DIN-3

(Ver Carpeta “Mapas”)

Figura 5-25. Localización de las pérdidas y de las ganancias de usos del suelo registradas entre los años 1990 y 2000 en la Comunidad de Madrid, a nivel 2 de CLC.

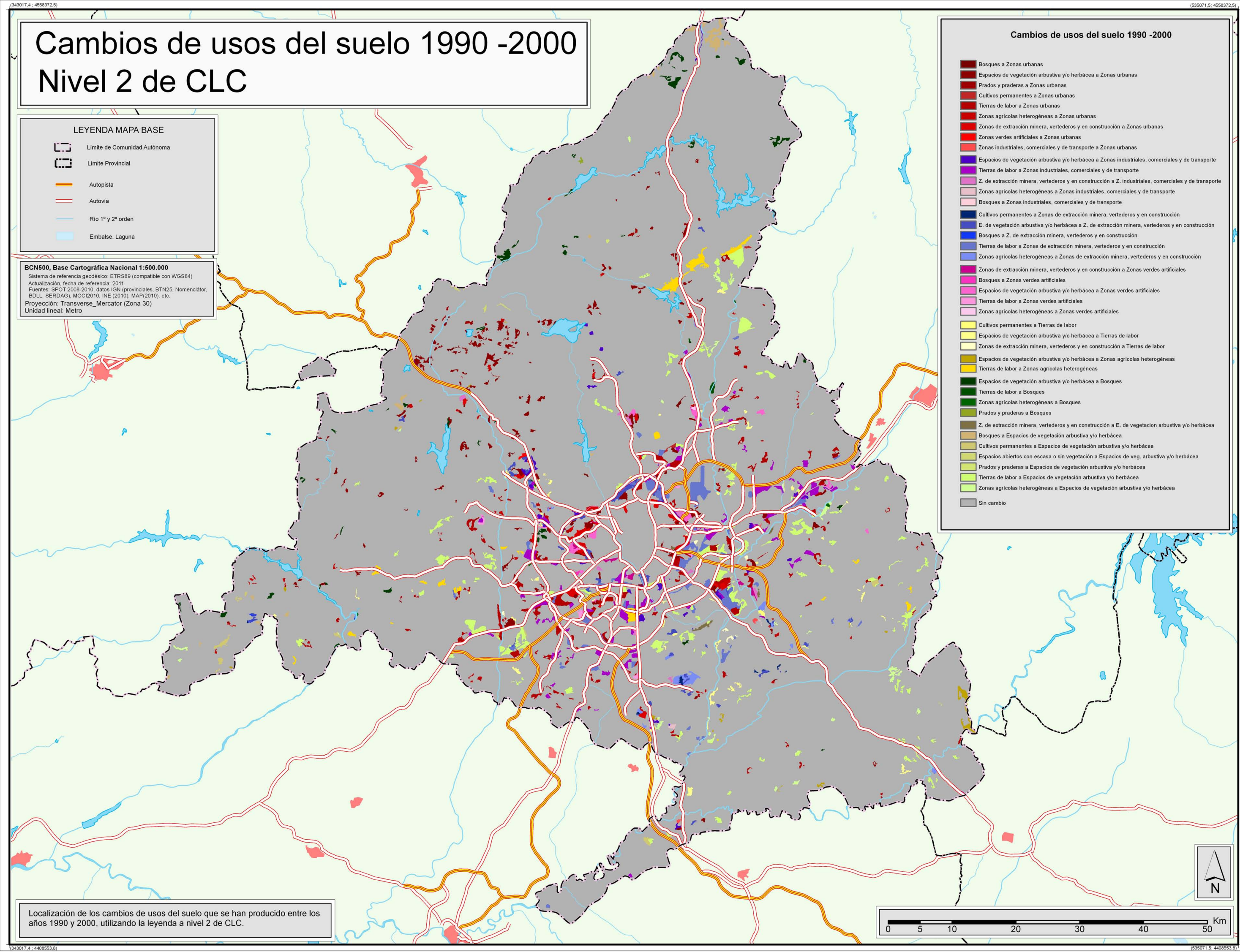
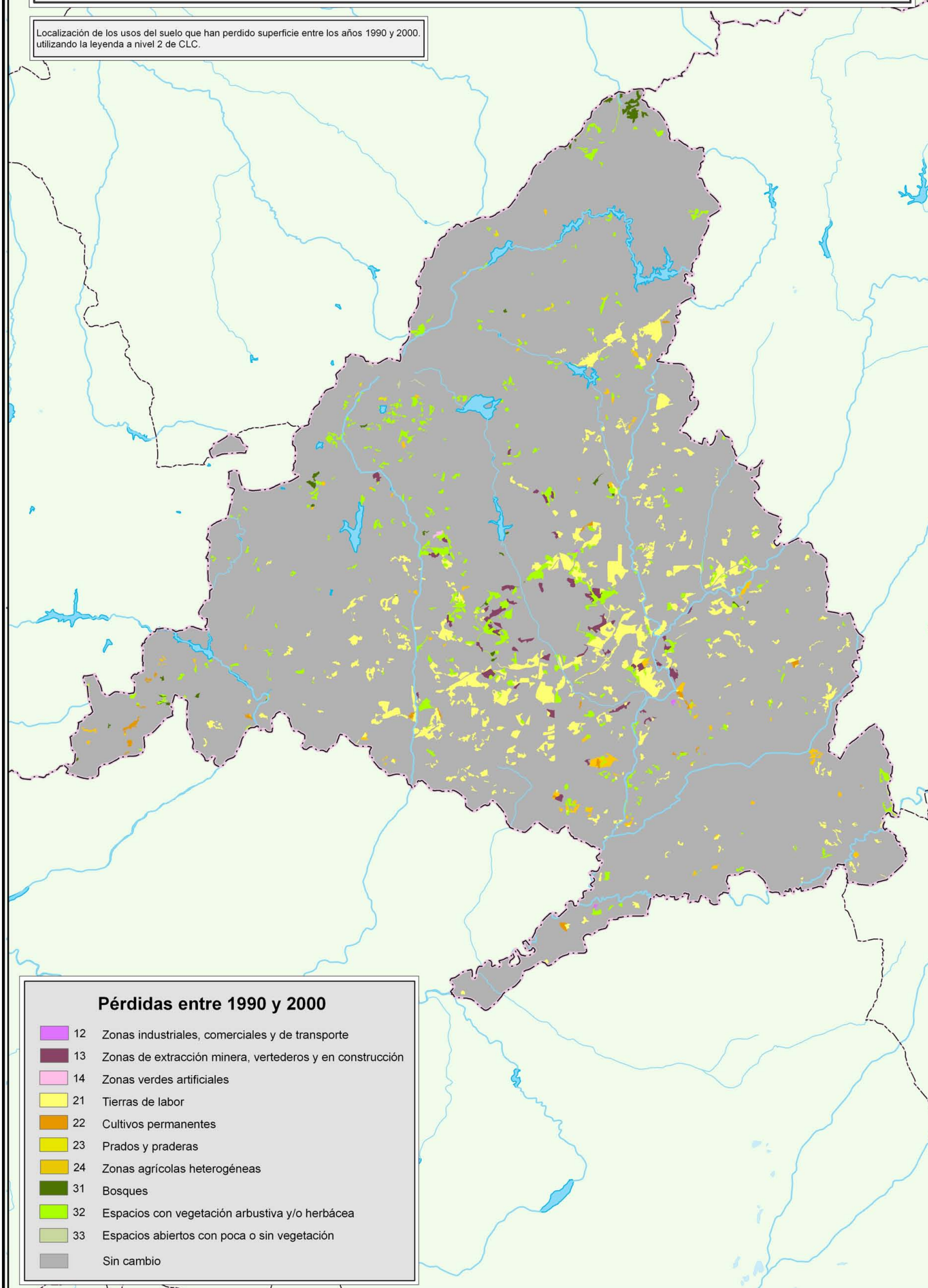


Figura 5-24. Localización de los cambios de usos del suelo registrados entre los años 1990 y 2000 en la Comunidad de Madrid, a nivel 2 de CORINE Land Cover.

Pérdidas de usos del suelo entre 1990 y 2000 Nivel 2 de CLC

Localización de los usos del suelo que han perdido superficie entre los años 1990 y 2000, utilizando la leyenda a nivel 2 de CLC.



Ganancias de usos del suelo entre 1990 y 2000 Nivel 2 de CLC

Localización de los usos del suelo que han ganado superficie entre los años 1990 y 2000, utilizando la leyenda a nivel 2 de CLC.

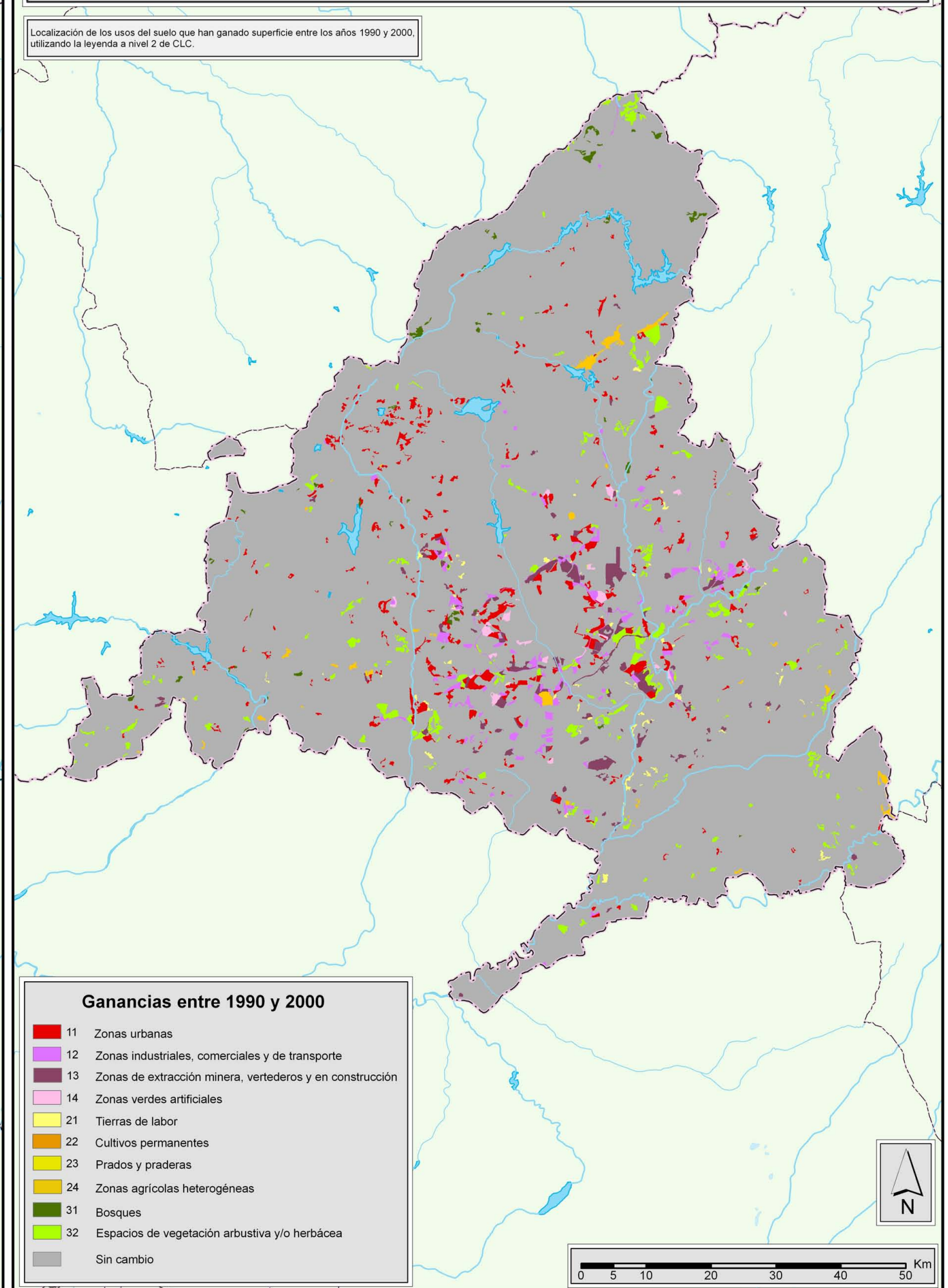


Figura 5-25. Localización de las pérdidas y de las ganancias de usos del suelo registradas entre los años 1990 y 2000 en la Comunidad de Madrid, a nivel 2 de CORINE Land Cover.

5.3.2.3 Cambios de usos del suelo entre 2000-2006

La tabla 5-9 muestra las categorías de usos del suelo, a nivel 2 de CLC, que han experimentado cambio y hacia qué otras categorías han transicionado, así como la persistencia que han experimentado en este periodo, tanto en número de hectáreas como en porcentajes con respecto al total. También puede observarse la superficie total de cada uso del suelo en ambos años.

Entre los años 2000 y 2006, las mayores transiciones, en cuanto a cantidad de hectáreas de cambio, han sido experimentadas desde las tierras de labor a las zonas industriales, comerciales y de transporte y a las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción. Por detrás, se encuentra la transición desde las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción a zonas urbanas y la transición desde espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea a zonas de extracción minera, vertederos y en construcción.

En cuanto a las pérdidas y ganancias experimentadas en cada categoría de uso del suelo en este periodo destacan, tal y como muestra la tabla 5-10, las tierras de labor y los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea, que pierden 15.234 ha y 10.853 ha., respectivamente, y las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción y las zonas urbanas, que ganan 10.892 ha. y 9.472 ha., respectivamente. Son las tierras de labor y las zonas urbanas las que registran el mayor cambio neto, mientras que las cifras más altas de intercambio se corresponden con las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción y los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea.

Para una mejor visualización, las figuras 5-26 y 5-27 muestran gráficamente las ganancias y pérdidas registradas y el cambio neto, respectivamente.

Así, en la figura 5-26, se observa que la mayoría de usos del suelo que han experimentado cambios, han experimentado tanto ganancias como pérdidas. Las categorías más dinámicas y que han sufrido los mayores intercambios son las tierras de labor, las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción y los espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea.

En cuanto al cambio neto (figura 5-27), como se ha detallado previamente, las tierras de labor son las que experimentan el mayor cambio neto de todos los usos del suelo en este periodo, con una pérdida de más de 12.000 ha. Muy de cerca le siguen las zonas urbanas, si bien experimentando el mayor cambio neto positivo, con una ganancia de casi 10.000 ha.

Los humedales y las aguas continentales permanecen estables. Prácticamente sin cambios pueden considerarse también los espacios abiertos con poca o sin vegetación.

	2006														
		1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	4.1	5.1	T
2000	1.1	56.339 (7,02)	0 -	0 -	0 -	1 -	0 -	0 -	0 -	0 -	1 -	0 -	0 -	0 -	56.341 (7,02)
	1.2	1.184 (0,15)	20.778 (2,59)	0 -	51 (0,01)	5 -	0 -	0 -	0 -	0 -	3 -	0 -	0 -	0 -	22.021 (2,75)
	1.3	3.251 (0,40)	1.717 (0,21)	3.469 (0,43)	677 (0,08)	85 (0,01)	0 -	17 -	359 (0,04)	0 -	568 (0,07)	0 -	0 -	0 -	101.43 (1,24)
	1.4	13 -	4 -	59 (0,01)	5.628 (0,70)	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	4 -	0 -	0 -	0 -	5.708 (0,71)
	2.1	1.987 (0,25)	3.853 (0,48)	7.146 (0,89)	250 (0,03)	182.050 (22,68)	163 (0,02)	0 -	416 (0,05)	25 -	1.391 (0,17)	0 -	0 -	4 -	197.284 (24,57)
	2.2	174 (0,02)	68 (0,01)	271 (0,03)	0 -	5 -	19.016 (2,37)	0 -	263 (0,03)	5 -	299 (0,04)	0 -	0 -	0 -	20.073 (2,50)
	2.3	66 (0,01)	0 -	0 -	0 -	62 (0,01)	0 -	4.077 (0,51)	33 -	26 -	71 (0,01)	0 -	0 -	0 -	4.335 (0,54)
	2.4	475 (0,06)	336 (0,04)	377 (0,05)	76 (0,01)	78 (0,01)	30 -	0 -	83.079 (10,35)	61 (0,01)	1.241 (0,15)	0 -	0 -	0 -	85.753 (10,68)
	3.1	531 (0,07)	145 (0,02)	21 -	45 (0,01)	11 -	4 -	0 -	5 -	77.132 (9,61)	2.741 (0,34)	17 -	0 -	0 -	80.650 (10,05)
	3.2	1.792 (0,22)	653 (0,08)	2.936 (0,37)	197 (0,02)	2.699 (0,34)	202 (0,03)	360 (0,04)	743 (0,09)	1.181 (0,15)	298.296 (37,16)	91 (0,01)	0 -	1 -	309.149 (38,51)
	3.3	0 -	0 -	82 (0,01)	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	4.511 (0,56)	0 -	0 -	4.593 (0,57)
	4.1	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	39 -	0 -	39 -
	5.1	0 -	0 -	0 -	0 -	10 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	6.695 (0,83)	6.705 (0,83)
	T	65.811 (8,20)	27.553 (3,43)	14.361 (1,79)	6.924 (0,86)	185.006 (23,05)	19.415 (2,42)	4.454 (0,55)	84.871 (10,57)	78.429 (9,77)	304.613 (37,94)	4.619 (0,58)	39 -	6.699 (0,83)	802.792 (100)

Tabla 5-9. Matriz de tabulación cruzada entre los años 2000 y 2006, en hectáreas y en porcentajes con respecto al total (entre paréntesis), utilizando un tamaño de píxel de 50x50m. Categorías correspondientes al nivel 2 de CLC: 1.1: Zonas urbanas; 1.2: Zonas industriales, comerciales y de transportes; 1.3: Zonas de extracción minera, vertederos y en construcción; 1.4: Zonas verdes artificiales, no agrícolas; 2.1: Tierras de labor; 2.2: Cultivos permanentes; 2.3: Prados y praderas; 2.4: Zonas agrícolas heterogéneas; 3.1: Bosques; 3.2: Espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea; 3.3: Espacios abiertos con poca o sin vegetación; 4.1: Zonas húmedas continentales; 5.1: Aguas continentales.

Usos del suelo	P	G	C.N	I	C.T
Zonas urbanas	-2	9.472	9.470	3	9.473
Zonas industriales, comerciales y de transporte	-1.243	6.776	5.532	2.487	8.019
Zonas de extracción minera, vertederos y en construcción	-6.674	10.892	4.218	13.348	17.566
Zonas verdes artificiales	-80	1.297	1.217	160	1.377
Tierras de labor	-15.234	2.955	-12.278	5.911	18.189
Cultivos permanentes	-1.057	399	-658	798	1.456
Prados y praderas	-258	377	119	516	635
Zonas agrícolas heterogéneas	-2.674	1.791	-883	3.583	4.465
Bosques	-3.518	1.297	-2.221	2.594	4.815
Espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea	-10.853	6.318	-4.536	12.635	17.171
Espacios abiertos con poca o sin vegetación	-82	108	26	165	190
Zonas húmedas continentales	0	0	0	0	0
Aguas continentales	-10	4	6	9	15

Tabla 5-10. Pérdidas (P), ganancias (G), cambio neto (C.N), intercambio (I) y cambio total (C.T) para cada categoría estudiada, a nivel 2 de CLC, entre los años 2000 y 2006, en hectáreas.

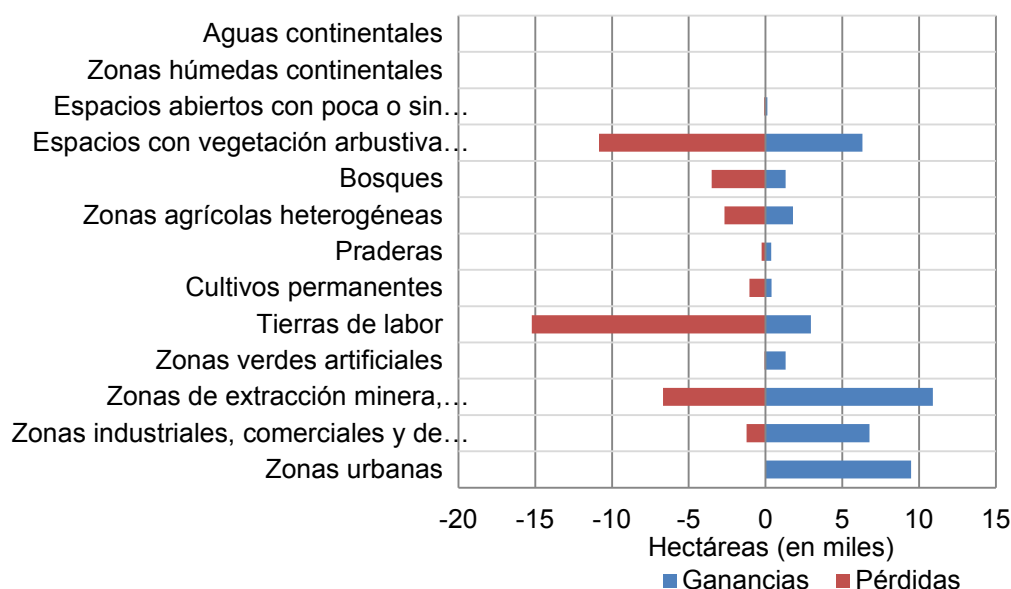


Figura 5-26. Ganancias, en azul, y pérdidas, en rojo, registradas para cada uno de los usos del suelo a nivel 2 de CLC, entre 2000 y 2006, en miles de hectáreas.

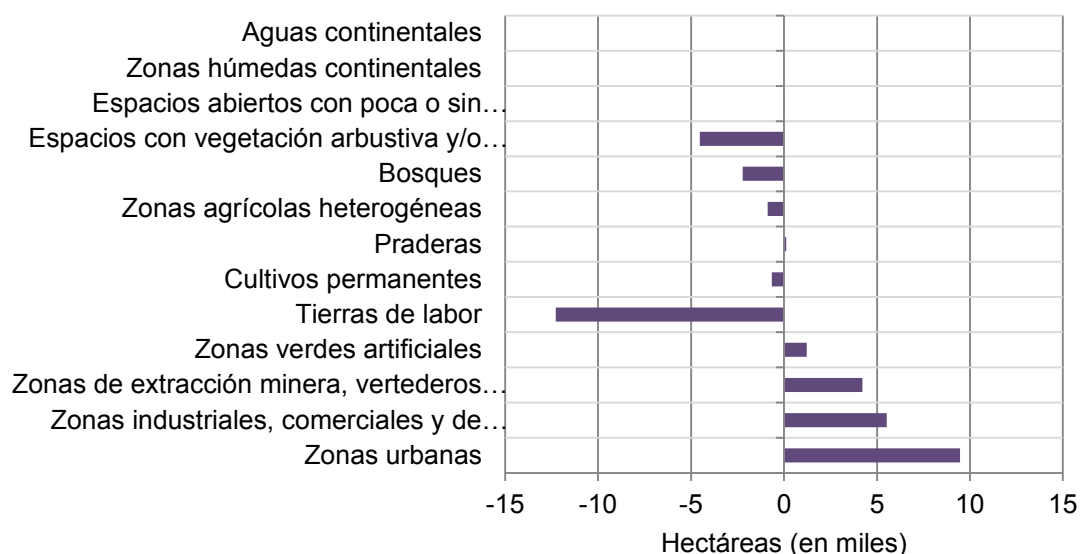


Figura 5-27. Cambio neto registrado para cada uno de los usos del suelo a nivel 2 de CLC, entre 2000 y 2006, en miles de hectáreas.

A continuación se muestra, con más detalle, desde qué categorías (ganancias) y hacia qué categorías (pérdidas) han transicionado los usos del suelo que más cambios han experimentado en cuanto al número de hectáreas entre 2000 y 2006.

Como se ha visto previamente, los dos usos que más pérdidas han registrado se corresponden con las tierras de labor y los espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea, tal y como sucedía en el periodo 1990-2000. Los dos usos que más ganancias han experimentado han sido, en primer lugar, las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción y en segundo lugar, las zonas urbanas. Se muestra, por tanto, el detalle de estos usos del suelo mencionados.

Entre los años 2000 y 2006, las tierras de labor (figura 5-28) han sido sustituidas, en su mayor parte, por zonas de extracción minera, vertederos y en construcción, así como por zonas industriales, comerciales y de transporte, zonas urbanas y espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea. Aunque con una cuantía pequeña, también han experimentado ganancias, a partir de espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea.

En cuanto a los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea (figura 5-29) éstos han experimentado tanto ganancias como pérdidas desde y hacia varios usos del suelo, siendo más numerosas las segundas con respecto a las primeras. Este uso del suelo ha sido sustituido por zonas de extracción minera, vertederos y en construcción, tierras de labor, zonas urbanas y bosques y, en menor medida, por zonas agrícolas heterogéneas y zonas industriales, comerciales y de transporte. Ha adquirido superficie, sin embargo, a partir de

bosques, tierras de labor, zonas agrícolas heterogéneas y zonas de extracción minera, vertederos y en construcción.

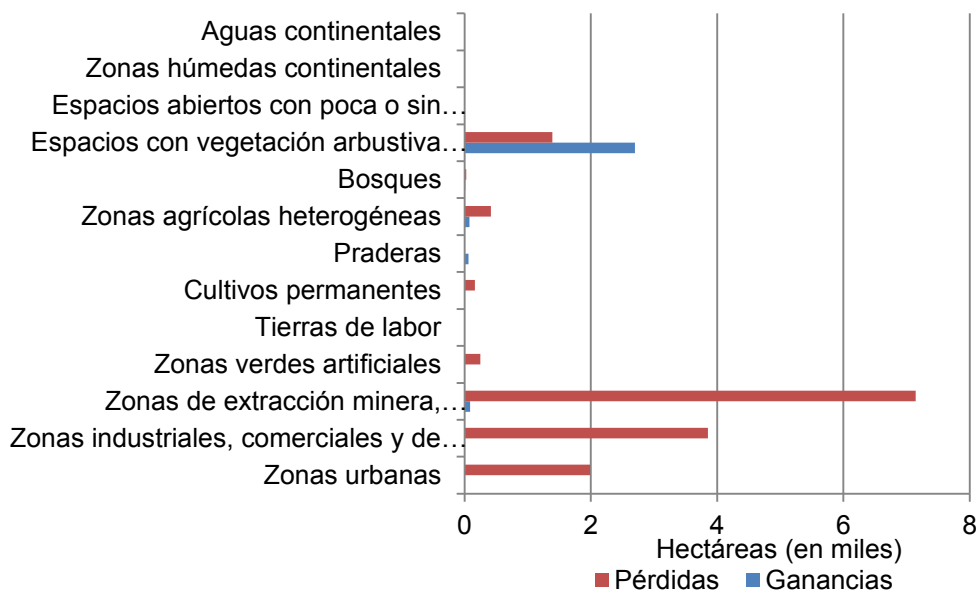


Figura 5-28. Pérdidas, en rojo, y ganancias, en azul, experimentadas en las tierras de labor entre 2000 y 2006 a nivel 2 de CLC, en miles de hectáreas.

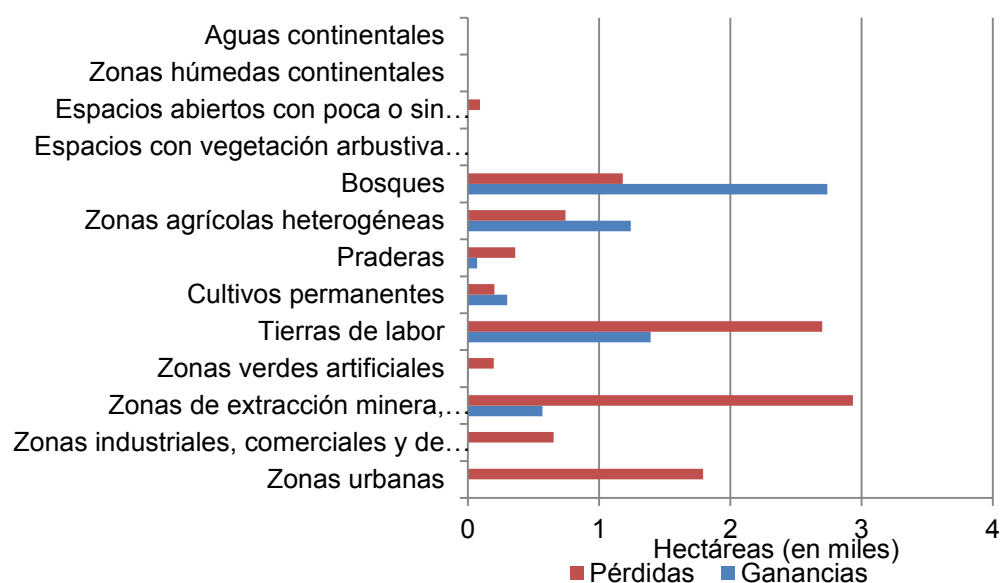


Figura 5-29. Pérdidas, en rojo, y ganancias, en azul, experimentadas en espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea entre 2000 y 2006 a nivel 2 de CLC, en miles de hectáreas.

Las mayores ganancias registradas entre 2000 y 2006 son las correspondientes con las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción (figura 5-30). Éstas, aunque han experimentado pérdidas, ya que han sido sustituidas por zonas urbanas, zonas industriales, comerciales y de transportes y, en menor medida, por zonas verdes artificiales, espacios con vegetación arbustiva y zonas agrícolas heterogéneas, son las ganancias, a

partir de tierras de labor y de espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea, las que han sido más numerosas.

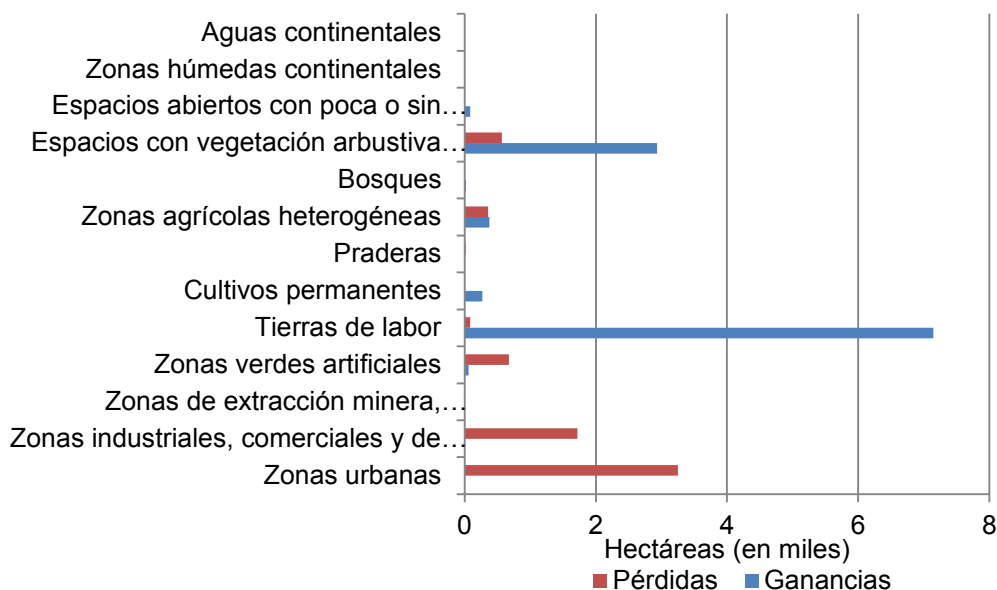


Figura 5-30. Pérdidas, en rojo, y ganancias, en azul, experimentadas en las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción entre 2000 y 2006 a nivel 2 de CLC, en miles de hectáreas.

Por último, las zonas urbanas (figura 5-31) también registran en este periodo grandes ganancias, provenientes, en su mayor parte, de las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción, las tierras de labor, los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea y las zonas industriales, comerciales y de transporte. Por tanto, no registran ninguna pérdida.

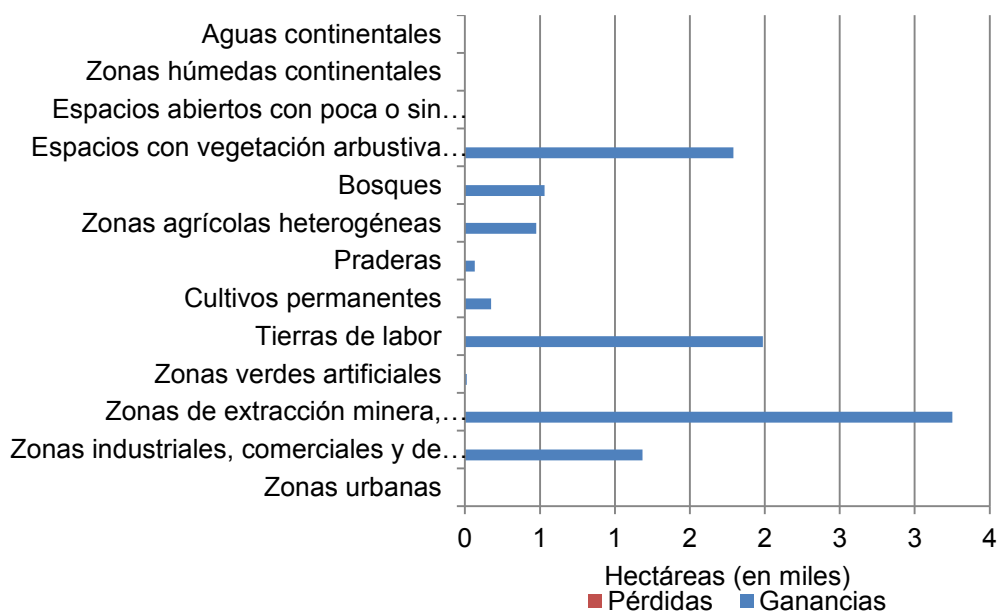


Figura 5-31. Pérdidas, en rojo, y ganancias, en azul, experimentadas en las zonas urbanas entre 2000 y 2006 a nivel 2 de CLC, en miles de hectáreas.

Si se desea un mayor detalle sobre las diferentes transiciones que se han dado en este ciclo, puede consultarse la matriz de tabulación cruzada realizada a nivel 3 de CLC que figura en el anexo 3.

En cuanto a la localización de los cambios de usos del suelo en este periodo, ésta muestra una dinámica similar a la del periodo 1990-2000.

La figura 5-32 detalla la localización de dichos cambios, mientras que la figura 5-33 muestra las pérdidas y ganancias registradas.

En ellas, se observa cómo el crecimiento artificial en torno a la metrópoli continúa expandiéndose, con los desarrollos de Las Tablas y Sanchinarro al norte, en las cercanías de Rivas Vacia-Madrid al este, en torno a Parla al sur y junto a Boadilla del Monte, Las Rozas o Majadahonda al oeste, así como el crecimiento urbano de forma dispersa localizado en la Sierra de Madrid, este último desarrollado a costa de espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea.

En cuanto a las infraestructuras de transporte, destaca el aeropuerto de Barajas, el cual experimenta un gran crecimiento con la ampliación de la nueva terminal T-4, así como la aparición de nuevas carreteras como son las radiales y nuevos tramos de la M-45 y M-50.

Los usos agrícolas continúan perdiendo superficie, especialmente los que se encuentran localizados al sur de región.

MAPA DIN-A3

(Ver Carpeta “Mapas”)

Figura 5-32. Localización de los cambios de usos del suelo registrados entre los años 2000 y 2006 en la Comunidad de Madrid, a nivel 2 de CLC.

MAPA DIN-A3

(Ver Carpeta “Mapas”)

Figura 5-33. Localización de las pérdidas y de las ganancias de usos del suelo registradas entre los años 2000 y 2006 en la Comunidad de Madrid, a nivel 2 de CLC.

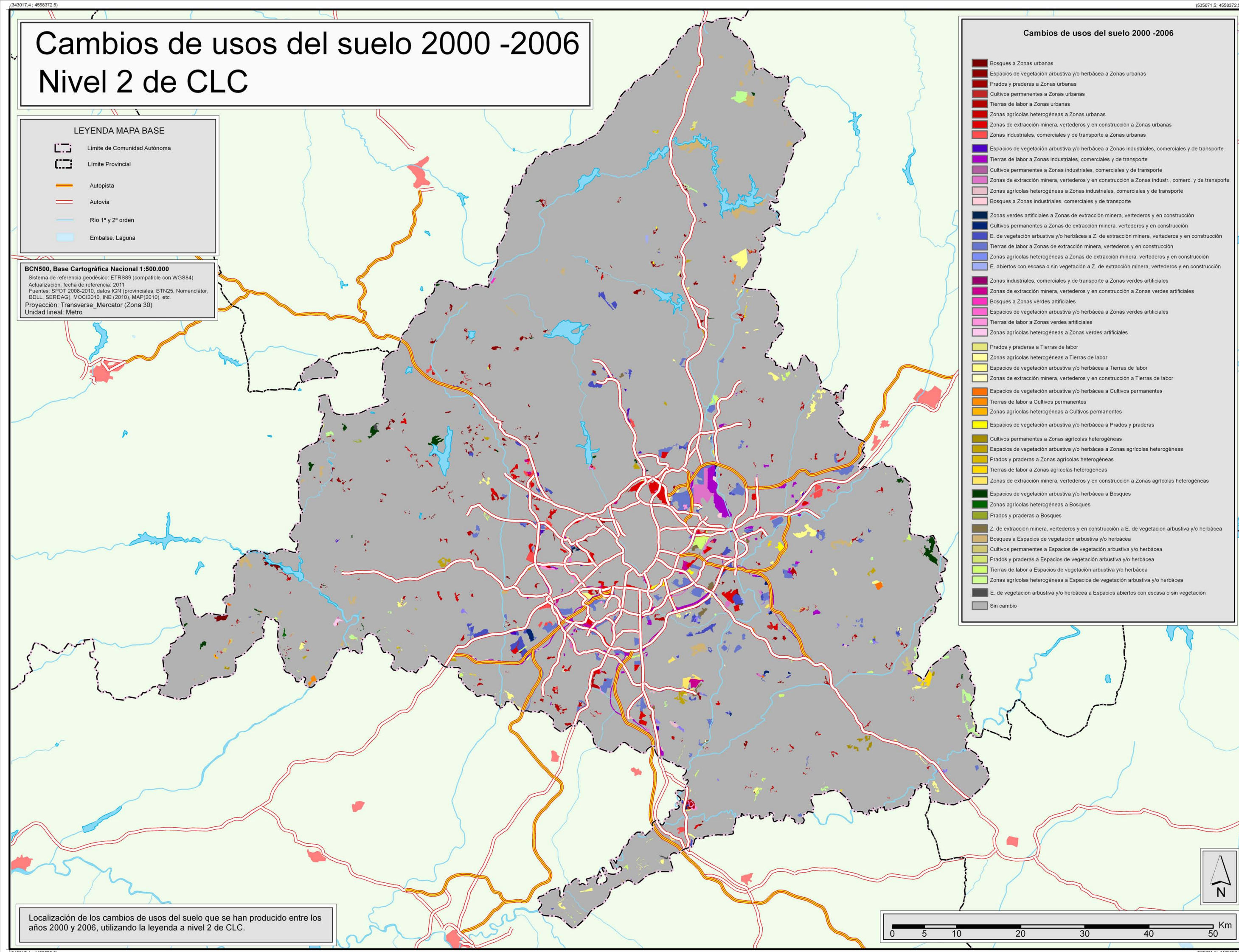
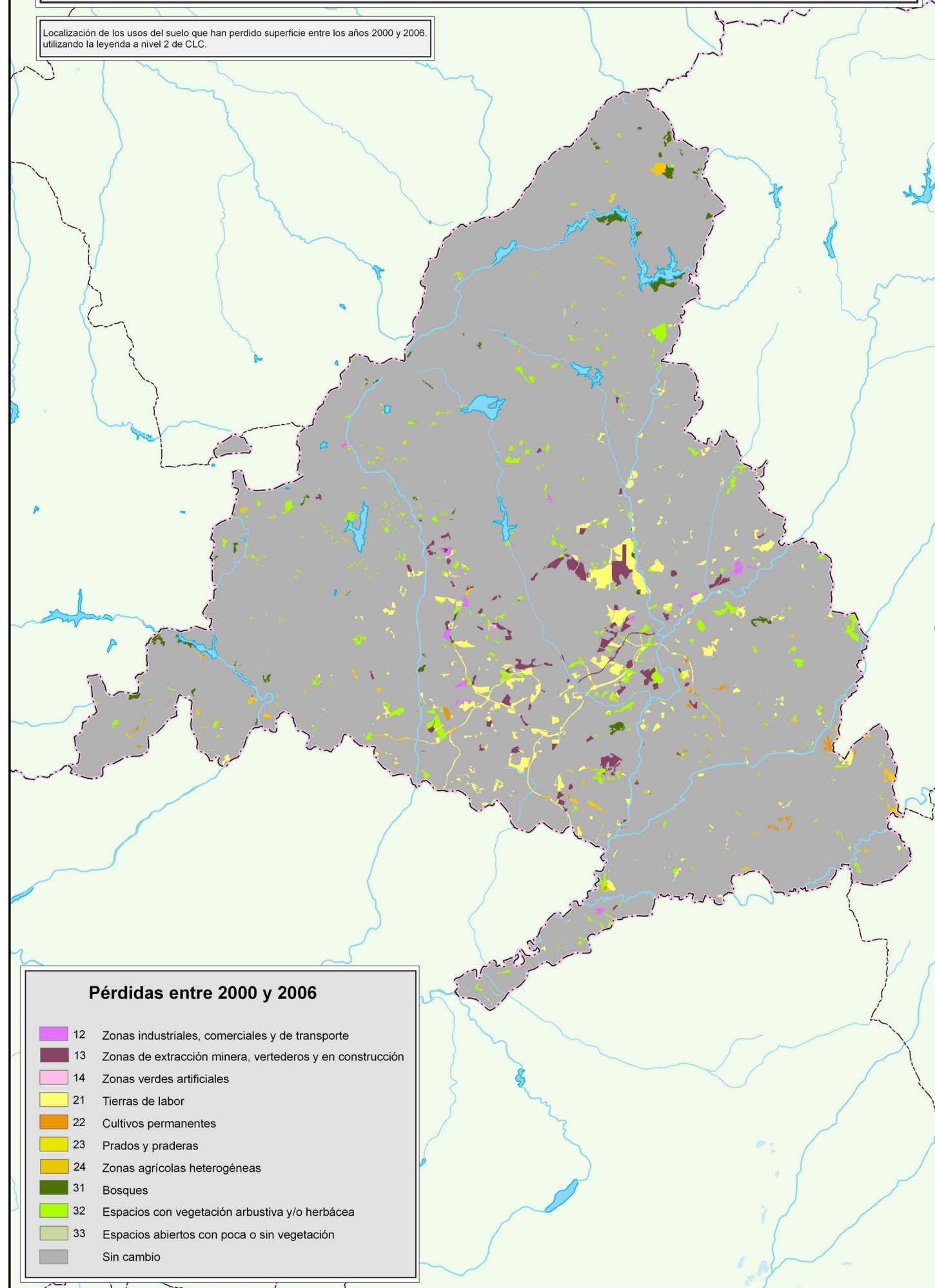


Figura 5-32. Localización de los cambios de usos del suelo registrados entre los años 2000 y 2006 en la Comunidad de Madrid, a nivel 2 de CORINE Land Cover.

Pérdidas de usos del suelo entre 2000 y 2006 Nivel 2 de CLC

Localización de los usos del suelo que han perdido superficie entre los años 2000 y 2006, utilizando la leyenda a nivel 2 de CLC.



Ganancias de usos del suelo entre 2000 y 2006 Nivel 2 de CLC

Localización de los usos del suelo que han ganado superficie entre los años 2000 y 2006, utilizando la leyenda a nivel 2 de CLC.

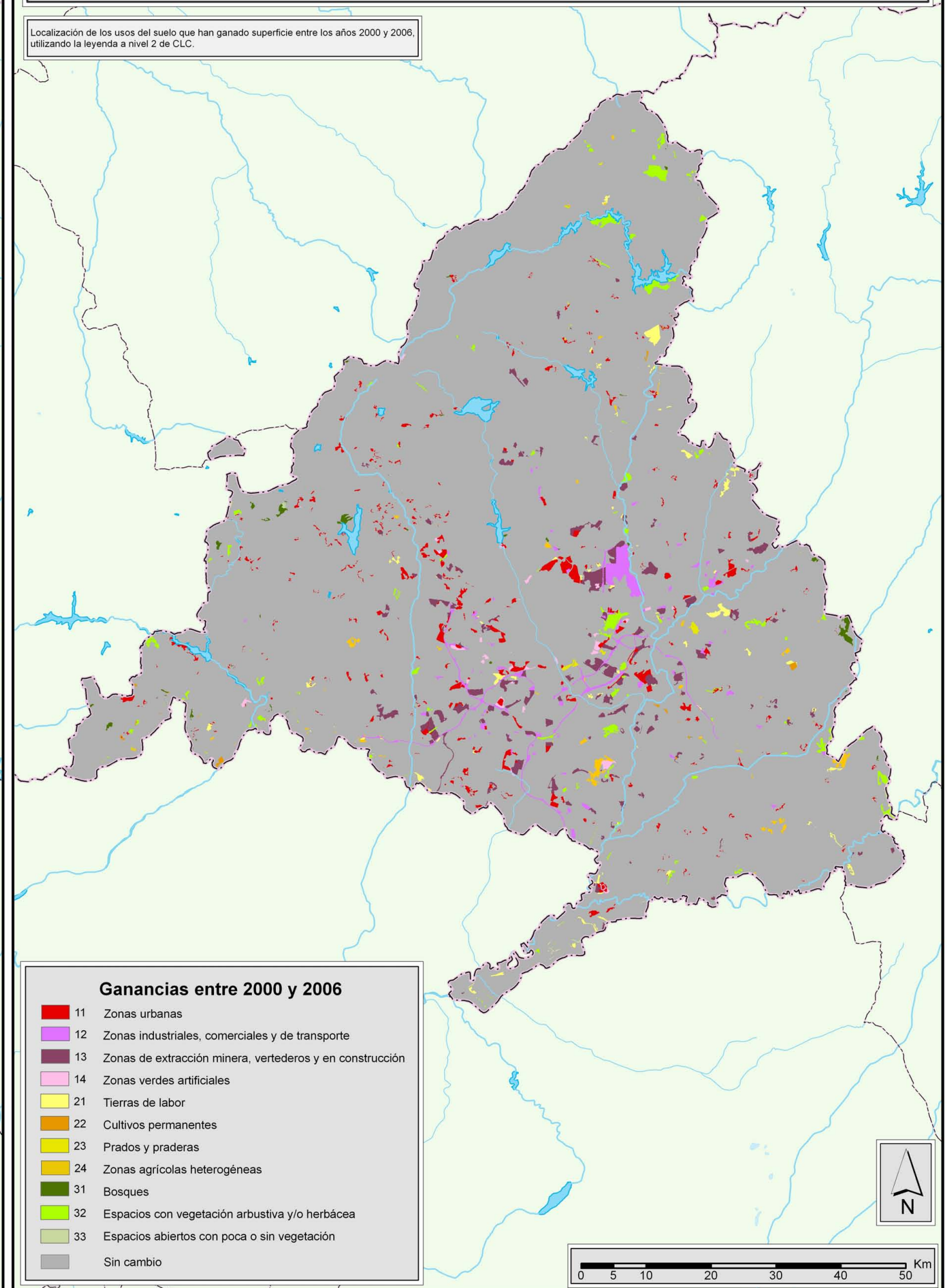


Figura 5-33. Localización de las pérdidas y de las ganancias de usos del suelo registradas entre los años 2000 y 2006 en la Comunidad de Madrid, a nivel 2 de CORINE Land Cover.

5.3.2.4 Cambios de usos del suelo entre 1982-2006

En este apartado pueden observarse los cambios que se han sucedido en el periodo completo de estudio, a nivel 2 y 3 de CLC.

La matriz de tabulación cruzada se ha realizado únicamente a nivel 3 de CLC y puede consultarse en el anexo 3.

La tabla 5-11 muestra la superficie que ocupaba cada uso del suelo a nivel 3 de CLC en el primer y en el último año de estudio, así como las ganancias, pérdidas, intercambios, cambio neto y cambio total que ha experimentado cada categoría en dicho periodo.

Es de destacar, por ejemplo, el cambio neto registrado por el tejido urbano discontinuo, el cual es el tercero en cuanto a intensidad después de las tierras de labor en secano y el matorral boscoso de transición; este uso ha pasado de ocupar cerca de 29.000 ha. en el año 1982, a ocupar algo más de 53.000 en el año 2006.

Una mejor visualización de las pérdidas, ganancias y cambio neto experimentado durante estos años, si bien a nivel 2 de CLC, puede observarse en las gráficas correspondientes con las figuras 5-34 y 5-35.

Así, la figura 5-34 muestra las pérdidas y ganancias experimentadas en dicho periodo a nivel 2 de CLC.

Se observa que son más numerosos los usos del suelo que experimentan ganancias que los que experimentan pérdidas. Las pérdidas más reseñables corresponden a las tierras de labor, las zonas agrícolas heterogéneas y los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea. Las ganancias se han dado en los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea, zonas agrícolas heterogéneas, zonas urbanas, tierras de labor, zonas industriales, comerciales y de transportes y zonas de extracción minera, vertederos y en construcción. Las dos primeras son coincidentes en pérdidas, por lo que entre estas categorías se ha producido un gran intercambio.

Por otra parte, la figura 5-35 muestra el cambio neto que se ha producido a nivel 2 CLC, en el que destacan ampliamente las pérdidas de las tierras de labor, con más de 45.000 ha. de pérdidas netas; en segundo lugar se encuentran las zonas agrícolas heterogéneas con más de 23.000 ha. de pérdidas netas. En el margen opuesto, podemos encontrar las zonas urbanas, que han experimentado un crecimiento neto de más de 26.000 ha.

Usos del suelo	Sup.82	Sup.06	P	G	I	C.N	C.T
Tejido urbano continuo	10.307	12.572	15	2.280	31	2.265	2.295
Tejido urbano discontinuo	28.941	53.240	1.284	25.582	2.567	24.299	26.866
Zonas industriales o comerciales	5.485	14.053	230	8.798	460	8.568	9.028
Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	3.899	8.297	25	4.422	49	4.398	4447
Aeropuertos	2.572	5.204	0	2.633	0	2.633	2.633
Zonas de extracción minera	2.922	3.514	1.986	2.578	3.972	592	4.564
Escombreras y vertederos	326	971	314	958	627	645	1.272
Zonas en construcción	1.796	9.876	1.770	9.850	3.540	8.080	11.620
Zonas verdes urbanas	833	3.864	197	3.227	394	3.030	3.424
Instalaciones deportivas y recreativas	1.060	3.061	134	2.135	268	2.001	2269
Tierras de labor en secano	205.276	154.364	66.712	15.799	31.599	50.913	82.511
Terrenos regados permanentemente	25.620	30.642	2.355	7.377	4.710	5.022	9.732
Viñedos	4.923	7.734	653	3.464	1.305	2.811	4.116
Frutales	28	311	0	283	0	283	283
Olivares	11.955	11.371	3.107	2.523	5.046	584	5.629
Prados y praderas	4.818	4.454	1.225	861	1.722	364	2.086
Mosaico de cultivos	47.016	37.282	25.344	15.610	31.219	9.734	40.953
Terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural	40.488	24.780	26.229	10.522	21.043	15.708	36.751
Sistemas agroforestales	20.577	22.808	4.393	6.624	8.785	2.231	11.016
Bosques de frondosas	31.489	31.675	4.610	4.796	9.220	186	9.406
Bosques de coníferas	48.531	43.232	7.244	1.944	3.888	5.300	9.187
Bosque mixto	3.699	3.522	717	540	1.081	176	1.257
Pastizales naturales	120.149	105.409	29.336	14.596	29.191	14.741	43.932
Matorrales esclerófilos	104.723	110.054	20.199	25.529	40.398	5.330	45.728
Matorral boscoso de transición	63.853	89.151	3.971	29.268	7.941	25.298	33.239
Roquedo	3.807	3.754	74	22	44	52	96
Espacios con vegetación escasa	957	865	196	103	206	93	299
Humedales y zonas pantanosas	39	39	0	0	0	0	0
Cursos de agua	1.024	1.018	11	6	11	6	17
Láminas de agua	5.681	5.681	0	0	0	0	0

Tabla 5-11. Superficie ocupada, pérdidas (P), ganancias (G), intercambio (I), cambio neto (C.N) y cambio total (C.T) para cada categoría estudiada, a nivel 3 de CLC, entre los años 1982 y 2006, en hectáreas.

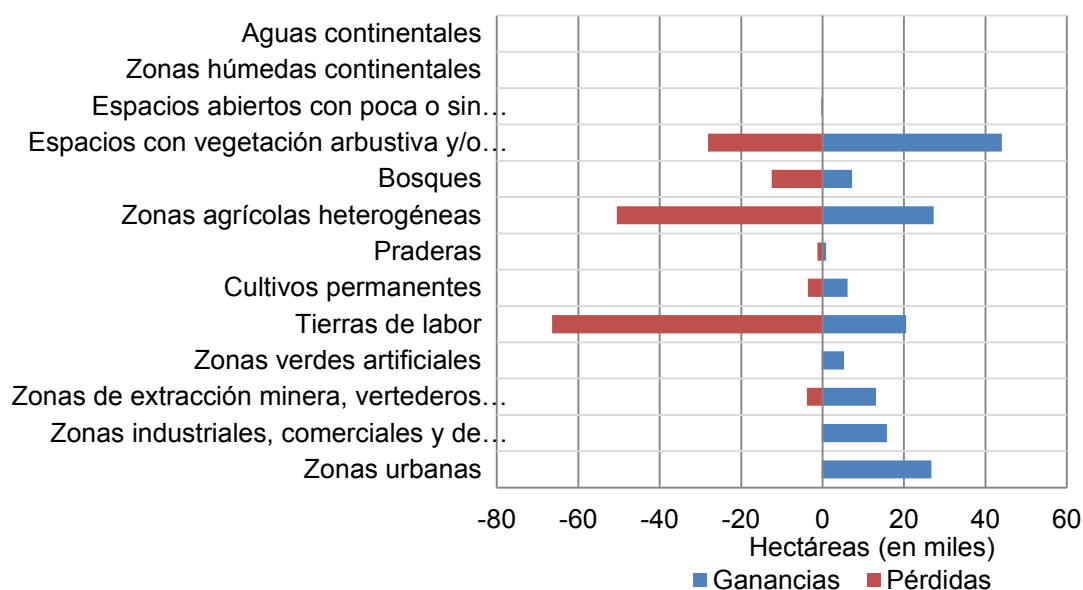


Figura 5-34. Ganancias, en azul, y pérdidas, en rojo, registradas para cada uno de los usos del suelo a nivel 2 de CLC, entre 1982 y 2006, en miles de hectáreas.

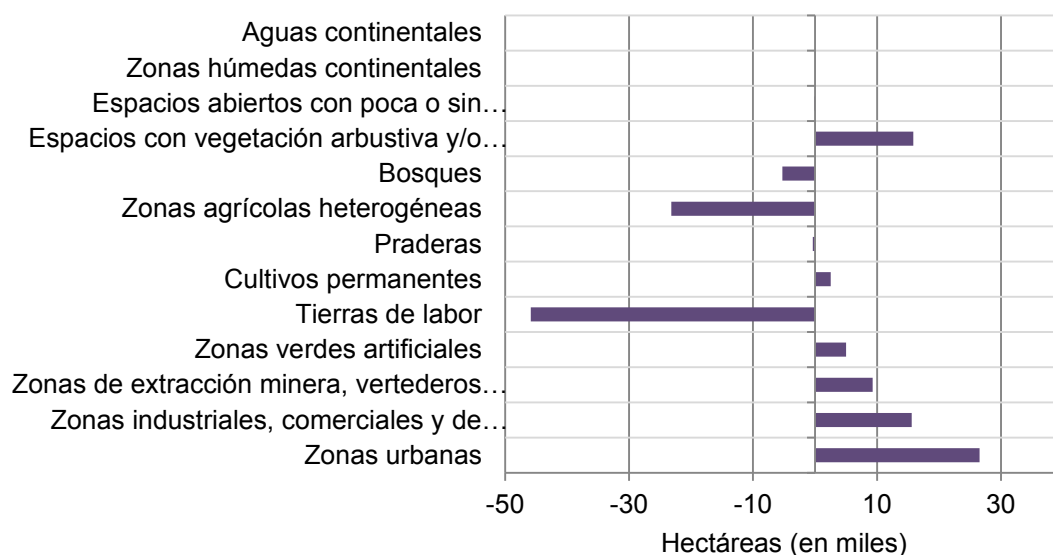


Figura 5-35. Cambio neto registrado en cada uno de los usos del suelo a nivel 2 de CLC, entre 1982 y 2006, en miles de hectáreas.

Para este periodo de estudio se muestran también la tipología de las transiciones que han tenido los usos del suelo más dinámicos, tanto en pérdidas como en ganancias, en cuanto al número de hectáreas de cambio.

Las mayores pérdidas han sido experimentadas por las tierras de labor y por las zonas agrícolas heterogéneas, mientras que las mayores ganancias han sido registradas en los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea, en las zonas agrícolas heterogéneas y en las zonas urbanas. Son estas las categorías que se muestran en las figuras 5-36 a 5-39.

La figura 5-36 muestra las transiciones que se han producido desde otras categorías a tierras de labor y las transiciones desde las tierras de labor hacia otras categorías entre 1982 y 2006. Éste es el uso del suelo, a nivel 2 de CLC, que más hectáreas ha perdido en dicho periodo. Su mayor pérdida de superficie ha venido de la mano de su sustitución por zonas agrícolas heterogéneas y, en menor medida, por zonas urbanas, zonas industriales, comerciales y de transporte, espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea y zonas de extracción minera, vertederos y en construcción. Solo unas pocas hectáreas pasan de ser espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea a tierras de labor.

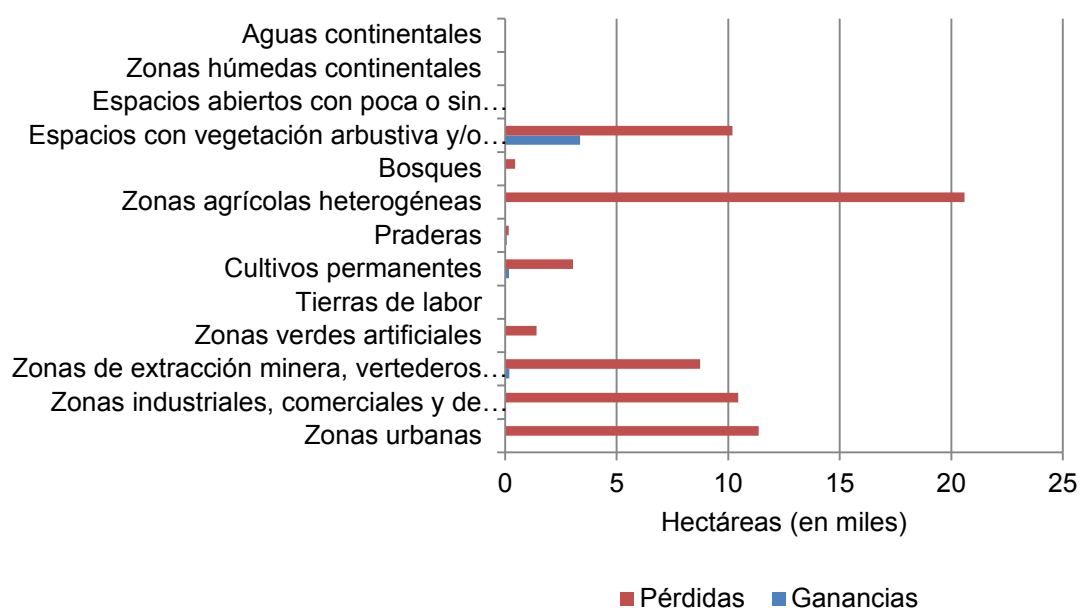


Figura 5-36. Pérdidas, en rojo, y ganancias, en azul, experimentadas en las tierras de labor entre 1982 y 2006 a nivel 2 de CLC, en miles de hectáreas.

En cuanto a las zonas agrícolas heterogéneas (figura 5-37), las cuales experimentan las mayores pérdidas en cuanto a superficie después de las tierras de labor, puede observarse que sus pérdidas han estado ligadas al aumento de los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea y de las tierras de labor, así como de cultivos permanentes, bosques, zonas urbanas y otros usos artificiales.

Registra también ganancias desde las tierras de labor y, en menor medida, desde los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea y los cultivos permanentes. Estas ganancias que experimenta hacen que este uso del suelo registre, a su vez, el segundo puesto en cuanto a las mayores ganancias acontecidas en dicho ciclo.

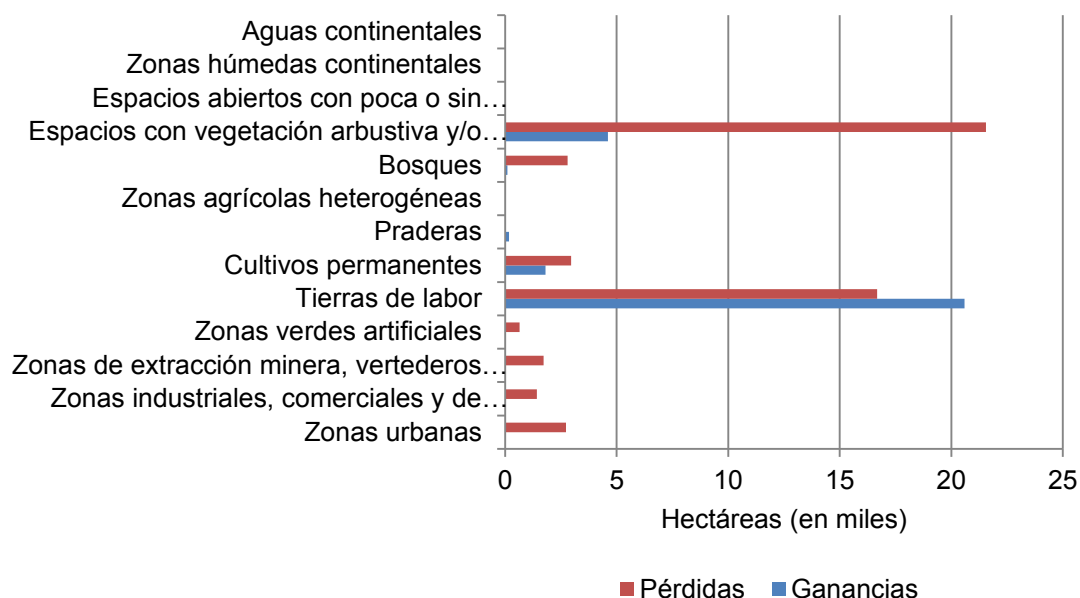


Figura 5-37. Pérdidas, en rojo, y ganancias, en azul, experimentadas en las zonas agrícolas heterogéneas entre 1982 y 2006 a nivel 2 de CLC, en miles de hectáreas.

El uso del suelo que mayores ganancias registra, en cuanto a superficie de cambio, entre 1982 y 2006, se corresponde con los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea. Hay que señalar que esta categoría registra también el tercer puesto en cuanto a las mayores pérdidas, por lo que es un uso del suelo que ha experimentado también grandes intercambios.

Esta tendencia se detalla en la figura 5-38, donde se observa que son varios los usos del suelo que pasan a ser espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea (principalmente las zonas agrícolas heterogéneas, así como las tierras de labor y bosques) y también son varios los usos del suelo que pasan a ocupar dicha categoría (en particular, las zonas urbanas).

Las zonas urbanas (figura 5-39) registran el tercer puesto en cuanto a ganancias durante todo el periodo de estudio, por detrás de los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea y de las zonas agrícolas heterogéneas. Se asienta principalmente sobre tierras de labor y espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea y, en menor medida, sobre zonas agrícolas heterogéneas, zonas de extracción minera, vertederos y en construcción y bosques.

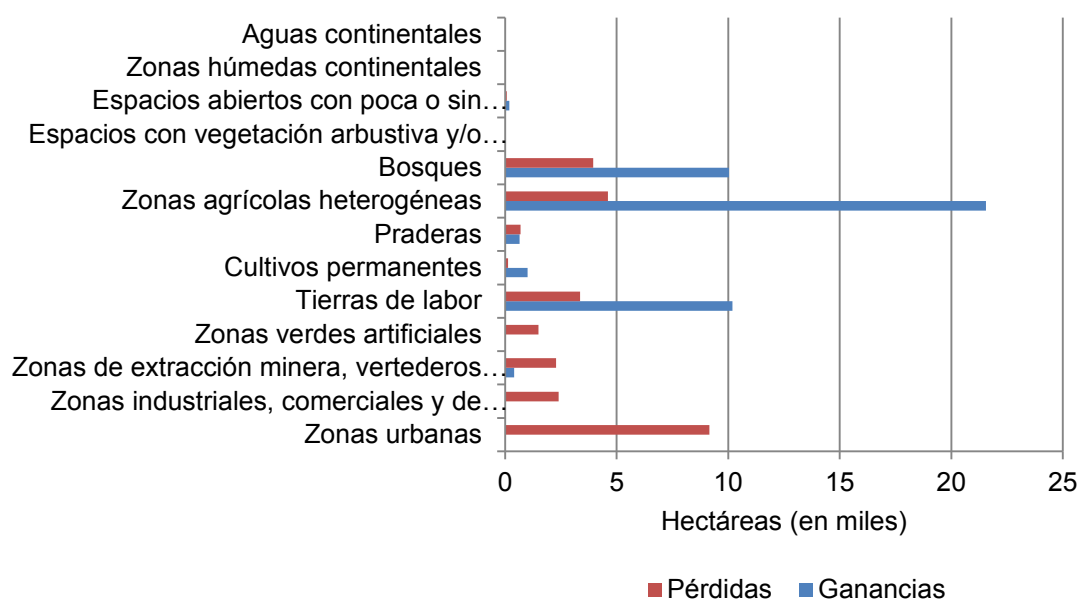


Figura 5-38. Pérdidas, en rojo, y ganancias, en azul, experimentadas en los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea entre 1982 y 2006 a nivel 2 de CLC, en miles de hectáreas.

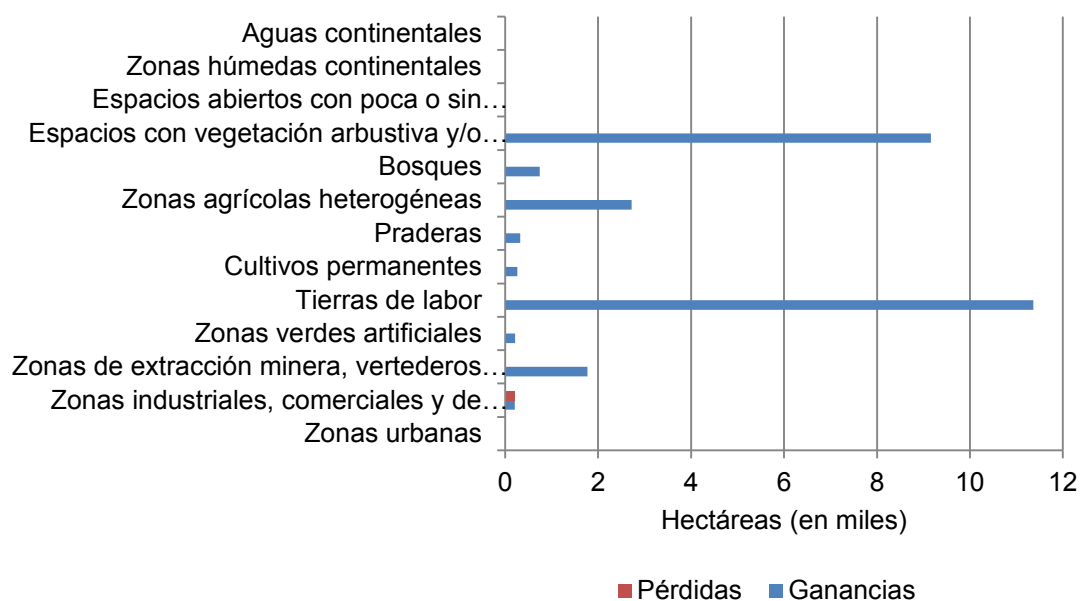


Figura 5-39. Pérdidas, en rojo, y ganancias, en azul, experimentadas en las zonas urbanas entre 1982 y 2006 a nivel 2 de CLC, en miles de hectáreas.

La localización de los cambios de usos del suelo y las pérdidas y ganancias que se han sucedido durante todo el periodo general de estudio puede observarse en las figuras 5-40 y 5-41, respectivamente.

En 24 años han sido numerosos y muy intensos los cambios que ha experimentado la CM, estando éstos repartidos por todo el territorio.

Las pérdidas presentan dos dinámicas claras: a) en la zona de la Sierra y la rampa, al noroeste y norte, han desaparecido tierras que pertenecían a espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea y, en menor medida, bosques; y b) en la zona de la campiña, páramos y valles, al sur, sureste y este, son las tierras agrícolas las que han desaparecido, en su mayor parte las conformadas por tierras de labor y zonas agrícolas heterogéneas.

En contraposición, se ha experimentado un considerable aumento de las áreas artificiales, extendiéndose principalmente alrededor de la ciudad y de la metrópoli de Madrid (con grandes desarrollos en áreas como Aravaca, Pozuelo, Tres Cantos, Alcobendas, Sancharro, Rivas Vacia-Madrid, Getafe, Alcorcón, Húmera o Boadilla del Monte), así como junto a las principales carreteras (Torrejón de Ardoz, Alcalá de Henares, Pinto, San Martín de la Vega, Parla, Arroyomolinos) y en localizaciones de alta calidad visual y de esparcimiento como es la Sierra (especialmente en torno a Guadarrama, Becerril de la Sierra, Mataelpino, El Bolao, Morazarzar o Collado Mediano, pero también en zonas cercanas a La Cabrera).

Por otra parte, los terrenos agrícolas, que en el año 1982 estaban localizados al sureste y en la zona más suroccidental de la región, han sido sustituidos por espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea, revelando así un continuo abandono de las tierras de labor.

MAPA DIN-A3

(Ver Carpeta “Mapas”)

Figura 5-40. Localización de los cambios de usos del suelo registrados entre los años 1982 y 2006 en la Comunidad de Madrid, a nivel 2 de CLC.

MAPA DIN-A3

(Ver Carpeta “Mapas”)

Figura 5-41. Localización de las pérdidas y de las ganancias de usos del suelo registradas entre los años 1982 y 2006 en la Comunidad de Madrid, a nivel 2 de CLC.

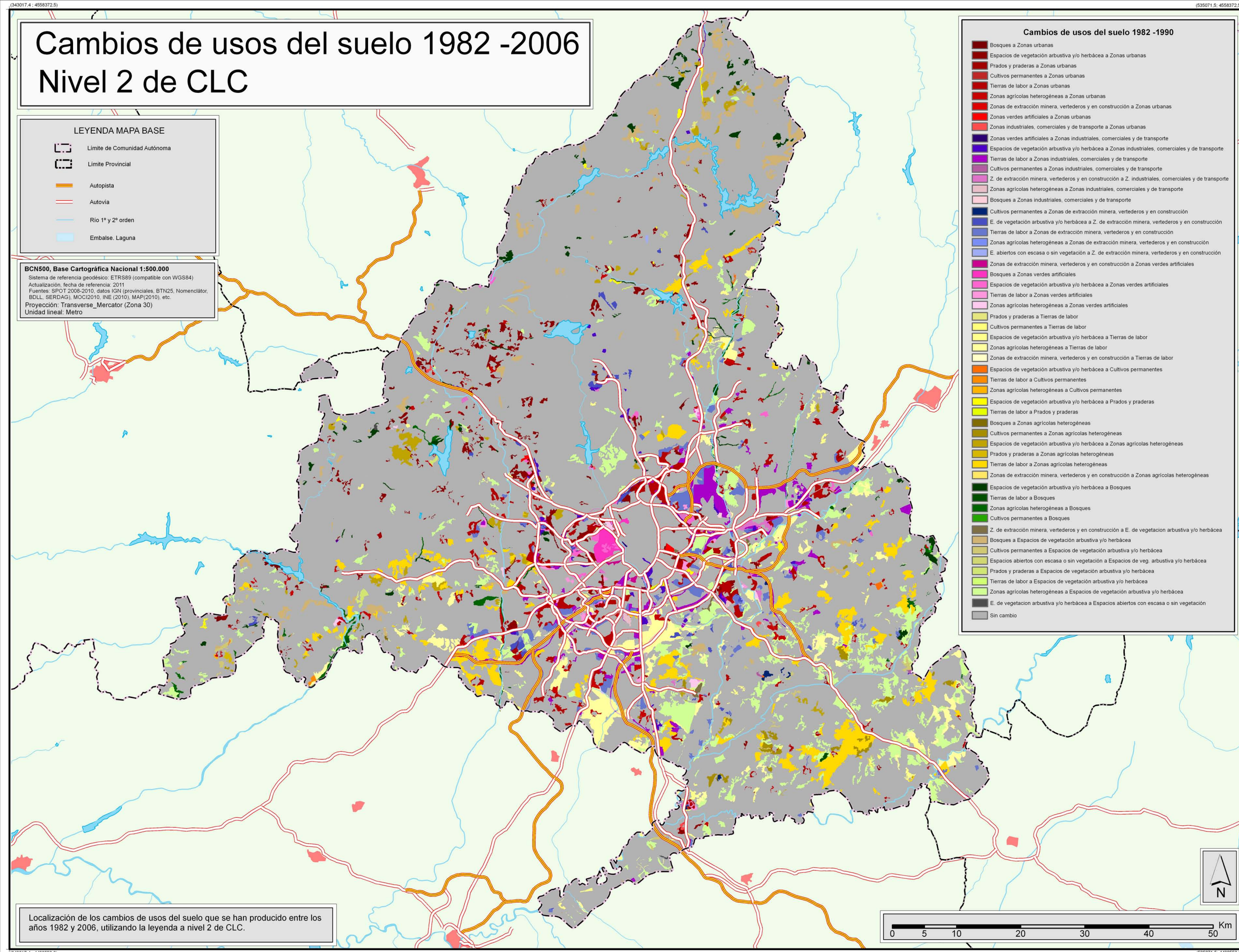
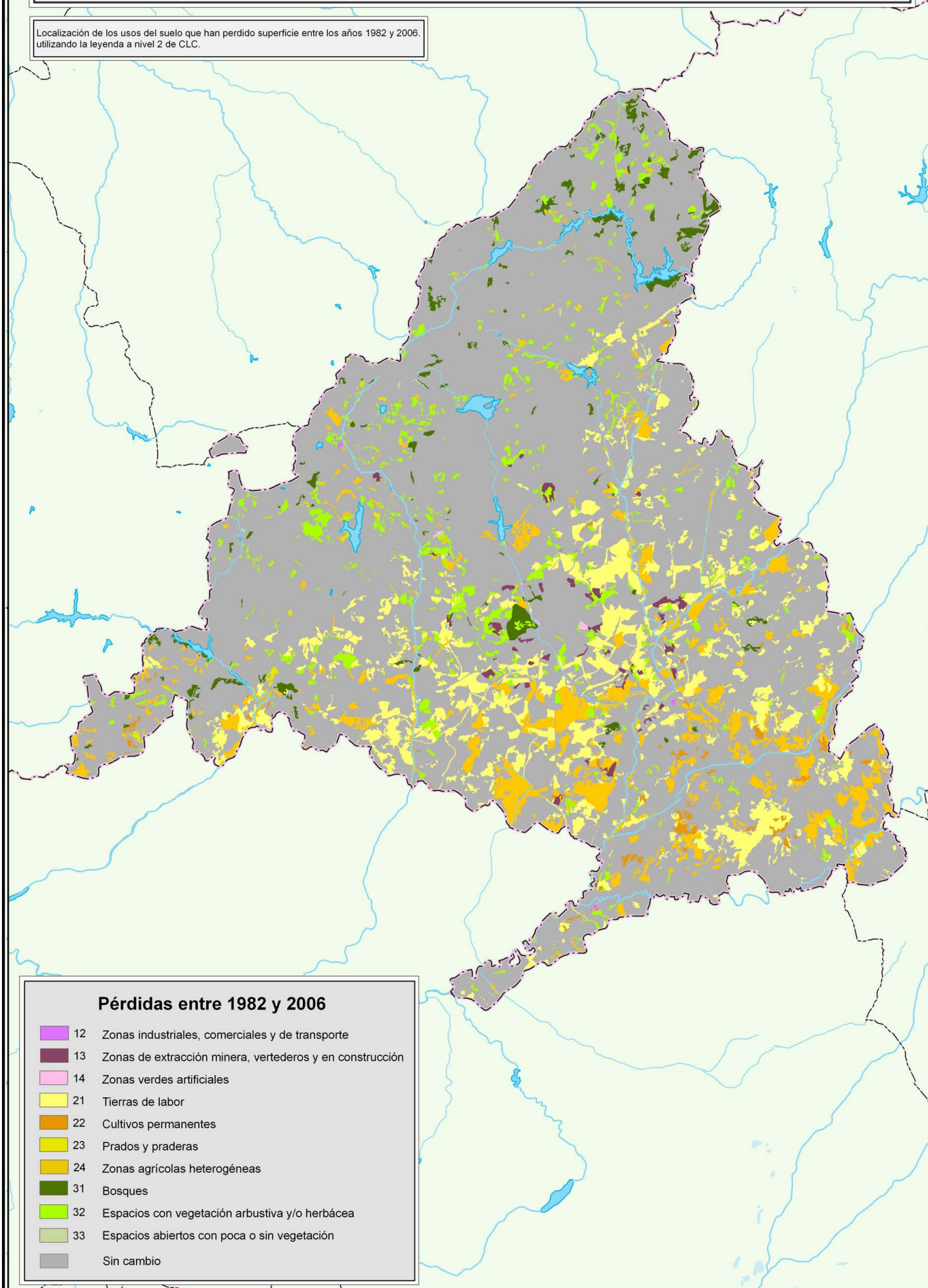


Figura 5-40. Localización de los cambios de usos del suelo registrados entre los años 1982 y 2006 en la Comunidad de Madrid, a nivel 2 de CORINE Land Cover.

Pérdidas de usos del suelo entre 1982 y 2006 Nivel 2 de CLC

Localización de los usos del suelo que han perdido superficie entre los años 1982 y 2006, utilizando la leyenda a nivel 2 de CLC.



Ganancias de usos del suelo entre 1982 y 2006 Nivel 2 de CLC

Localización de los usos del suelo que han ganado superficie entre los años 1982 y 2006, utilizando la leyenda a nivel 2 de CLC.

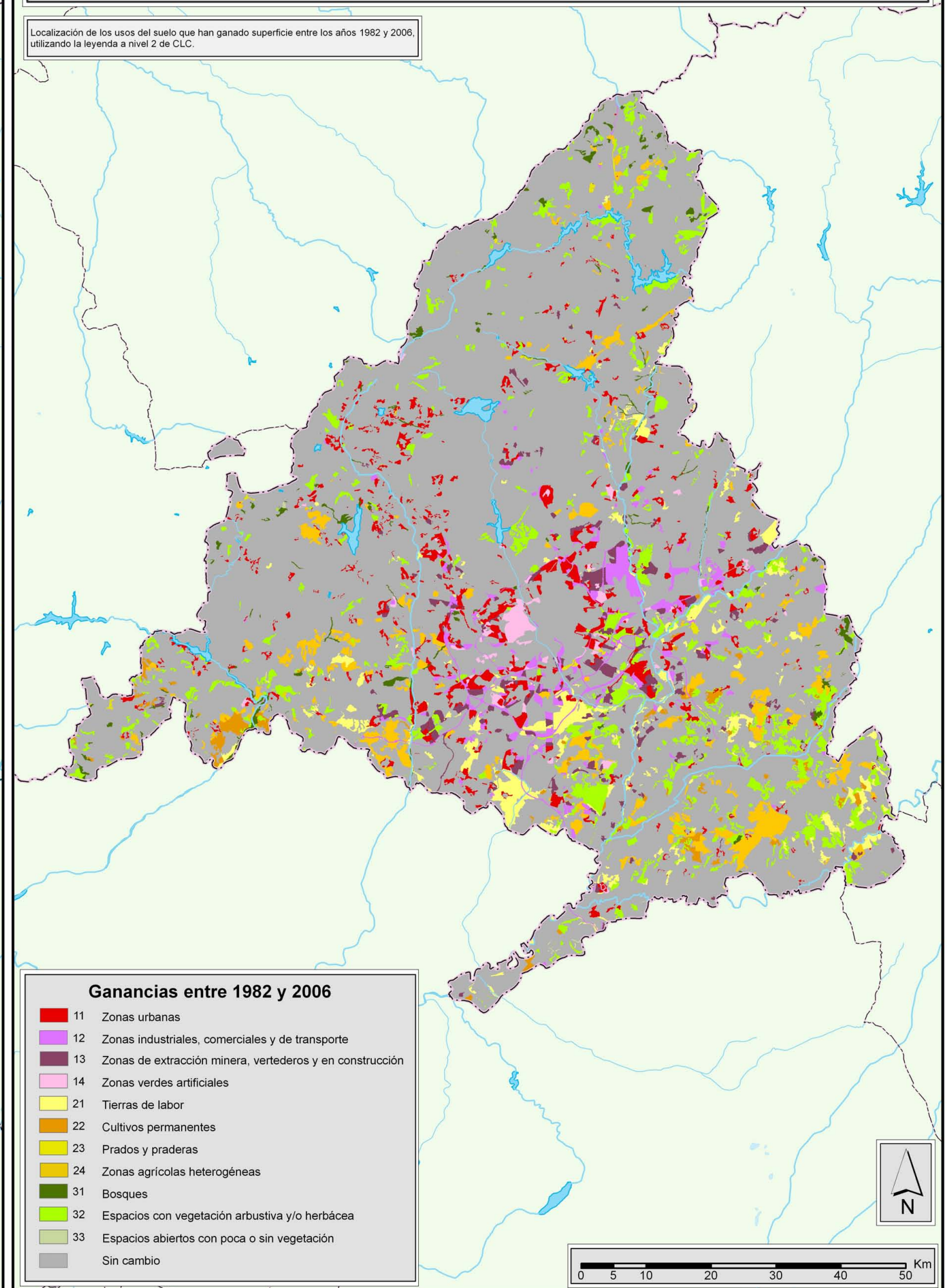


Figura 5-41. Localización de las pérdidas y de las ganancias de usos del suelo registradas entre los años 1982 y 2006 en la Comunidad de Madrid, a nivel 2 de CORINE Land Cover.

5.3.3 Frecuencias de cambios en los años 1982, 1990, 2000 y 2006.

En este apartado se han analizado las transiciones de usos del suelo que se han dado en la región en los años 1982, 1990, 2000 y 2006. Se han analizado las frecuencias de las transiciones, el número de categorías involucradas y la trayectoria de las transiciones según las categorías implicadas, tanto a nivel 2 como a nivel 3 de CLC.

Como ya se señaló en la metodología de este capítulo, este tipo de análisis de transiciones también puede servir de ayuda a la hora de detectar posibles errores en nuestros datos cartográficos.

Las tablas 5-12 a 5-15 muestran el número de transiciones y el número de categorías que se han sucedido en los diferentes años de estudio, a nivel 2 y 3 de CLC.

Se producen 0 transiciones cuando el territorio no experimenta ningún cambio, por ello estas cifras son coincidentes con la primera fila de la tabla de categorías involucradas; esto es, si se producen 0 transiciones solo puede haber 1 categoría de uso del suelo. Se produce 1 transición cuando un uso del suelo cambia a otra categoría; en este caso, estarían involucradas dos categorías. Se producen 2 transiciones cuando un uso del suelo cambia a una o dos categorías diferentes; esto es, dos transiciones pueden producirse si la categoría A pasa a ser B y luego C (dos transiciones, 3 categorías), pero puede producirse que la categoría A pase a ser B y luego pase a ser A de nuevo (dos transiciones, dos categorías). Por último, pueden producirse 3 transiciones involucrando a 4 categorías (si A pasa a B, luego a C y luego D) o a 3 categorías (A pasa a B, luego a C y luego a B). Es por ello que estas últimas transiciones no tienen por qué coincidir en porcentaje con las categorías involucradas.

A nivel 2 de CLC y entre 1982 y 2006 (tabla 5-12), el 18,53% de nuestro territorio transiciona una sola vez, de una categoría a otra, lo que supone el 86% de todas las transiciones. Casi el 3% transiciona dos veces y solo el 0,20% transiciona en tres ocasiones.

En cuanto a las categorías involucradas (tabla 5-13), las cifras se asemejan bastante a la de las transiciones; el 19,22% del territorio cambia a dos categorías, mientras que el 2,16% cambia a tres y el 0,09% a cuatro. Se puede observar que el porcentaje perteneciente al dato de dos categorías es mayor que el porcentaje perteneciente al dato de una transición (un 0,69%), lo que significa que, cuando se producen dos transiciones, no solo están involucradas tres categorías, sino que un 0,69% está involucrando solo a dos categorías. Lo mismo sucede con el dato de tres transiciones; éstas involucran a cuatro categorías pero también un 0,10% involucran a tres.

	1982 , 1990	1982, 1990, 2000	1982, 1990, 2000, 2006
0 Transiciones	87,20	81,60	78,53
1 Transición	12,80	17,39	18,53
2 Transiciones	0,00	1,01	2,75
3 Transiciones	0,00	0,00	0,19

Tabla 5-12. Número de transiciones de cambio que se producen cada año de estudio, a nivel 2 de CLC, en porcentaje sobre el total de cambio.

	1982 , 1990	1982, 1990, 2000	1982, 1990, 2000, 2006
1 Categoría	87,20	81,60	78,53
2 Categorías	1,80	17,66	19,22
3 Categorías	0,00	0,74	2,16
4 Categorías	0,00	0,00	0,09

Tabla 5-13. Número de categorías involucradas en los cambios cada año de estudio, a nivel 2 de CLC, en porcentaje sobre el total de cambio.

A nivel 3 de CLC y entre 1982 y 2006, la CM evoluciona de la misma manera que a nivel 2 de CLC, pero los datos tienen valores más altos, ya que están presentes un mayor número de categorías y, por lo tanto, hay mayor probabilidad de transición (tabla 5-14). El 22,23% de nuestro territorio transiciona una sola vez, de una categoría a otra, el 3,40% transiciona dos veces y solo el 0,26% transiciona en tres ocasiones.

	1982 , 1990	1982, 1990, 2000	1982, 1990, 2000, 2006
0 Transiciones	84,19	77,48	74,11
1 Transición	15,81	21,14	22,23
2 Transiciones	0,00	1,37	3,40
3 Transiciones	0,00	0,00	0,26

Tabla 5-14. Número de transiciones de cambio que se producen cada año de estudio, a nivel 3 de CLC en porcentaje sobre el total de cambio.

En cuanto a las categorías involucradas (tabla 5-15), el 22,96% del territorio cambia a dos categorías, mientras que el 2,78% cambia a tres, y el 0,15% a cuatro.

Al igual que para el nivel 2 de CLC, el porcentaje perteneciente al dato de dos categorías es mayor que el porcentaje perteneciente al dato de una transición (en este caso, un 0,73%), lo que significa que cuando se producen dos transiciones no solo están involucradas tres categorías, sino que hay un 0,73% que está involucrando solo a dos. Lo mismo sucede con tres transiciones, donde el 0,11% está involucrando a tres categorías.

	1982 , 1990	1982, 1990, 2000	1982, 1990, 2000, 2006
1 Categoría	84,19	77,48	74,11
2 Categorías	15,81	21,33	22,96
3 Categorías	0,00	1,19	2,78
4 Categorías	0,00	0,00	0,15

Tabla 5-15. Número de categorías involucradas en los cambios cada año de estudio, a nivel 3 de CLC en porcentaje sobre el total de cambio.

La figura 5-42 muestra las transiciones comentadas anteriormente de manera gráfica, tanto a nivel 2 de CLC (a) como a nivel 3 (b), para que puedan compararse fácilmente.

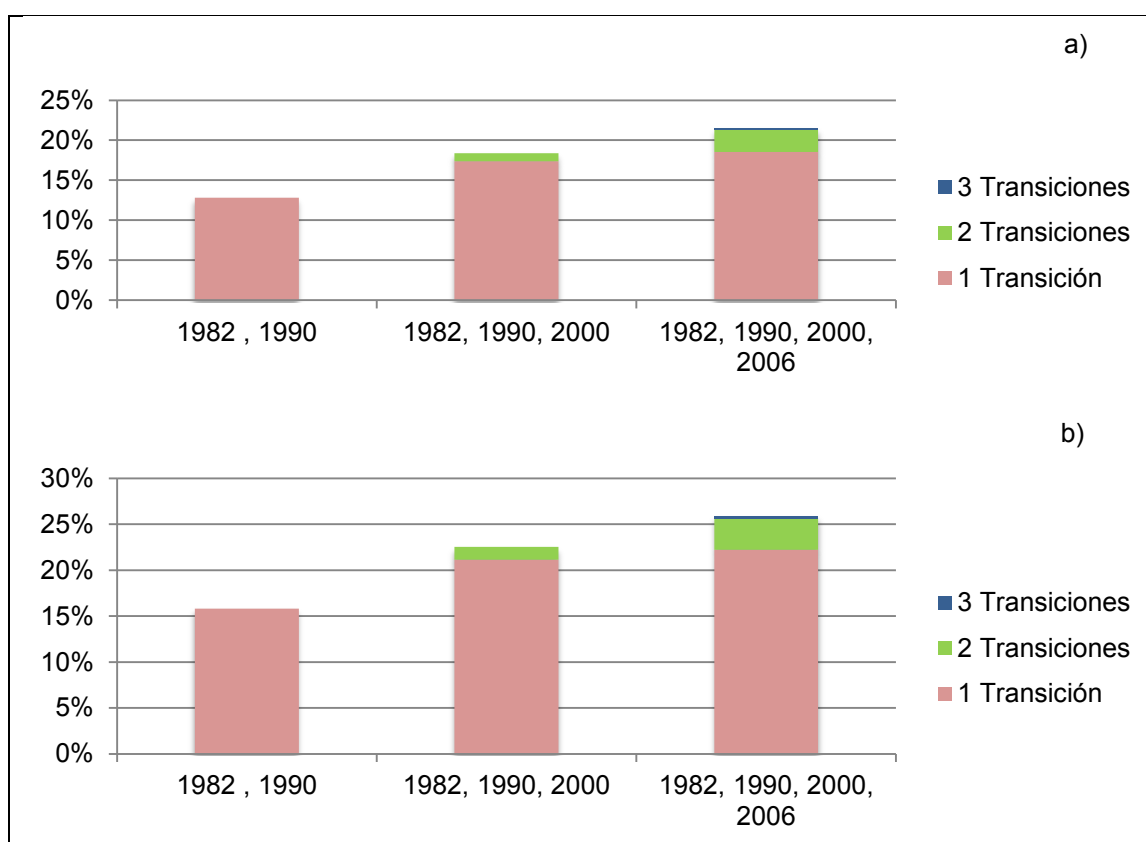


Figura 5-42. Número de transiciones presentes en cada año de estudio y porcentaje que ocupan respecto al total del cambio, a nivel 2 (a) y 3 (b) de CLC.

Por otra parte, la figura 5-43 muestra dónde se localizan las diferentes categorías involucradas en los cambios de usos del suelo a nivel 2 (a) y a nivel 3 (b) de CLC, en los años 1982, 1990, 2000 y 2006.

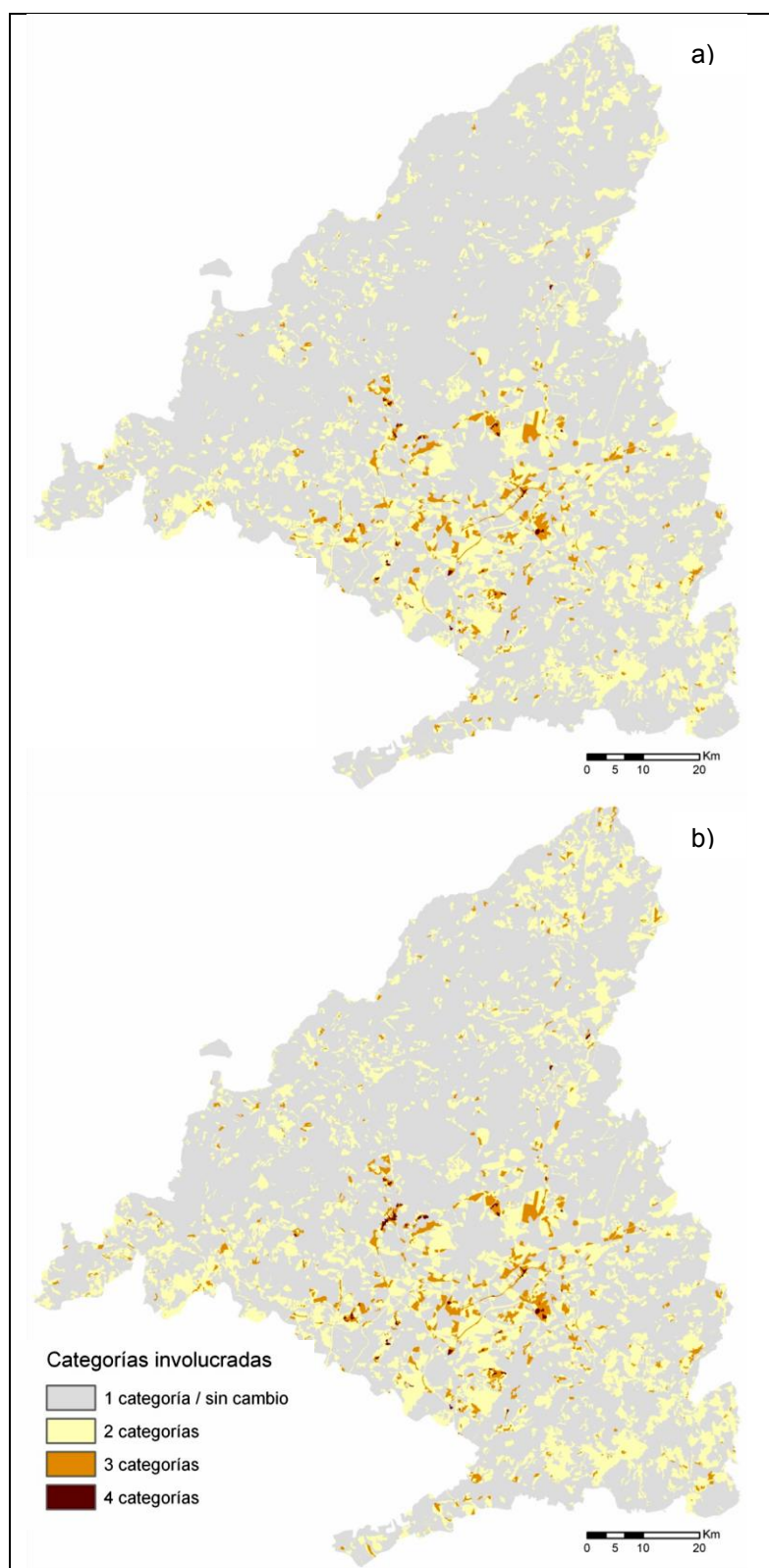


Figura 5-43. Número de categorías involucradas en los cambios de usos del suelo en los años 1982, 1990, 2000 y 2006, a nivel 2 (a) y 3 (b) de CLC.

En ambos niveles de detalle, se observa que la mayor parte de la región no ha experimentado ningún cambio; es por ello, que el número de categorías involucradas es de 1. Cuando se experimenta cambio, lo más frecuente es que estén involucradas dos categorías, es decir, ha habido un cambio de A a B; esta tipología se encuentra repartida prácticamente por todo el territorio. Cuando hay tres categorías involucradas, es decir, ha habido un cambio de A a B y de B a C, éstas se localizan en los alrededores de la metrópoli y al sur de la región. Raras son las ocasiones en las que se registran 4 categorías involucradas, es decir, ha habido un cambio de A a B, de B a C y de C a D; éstas son más frecuentes a nivel 3 de CLC, ya que su leyenda temática está más desagregada y muestra más categorías, por lo que hay más probabilidad de que esto se produzca; éstas últimas se concentran también en torno a la metrópoli de Madrid y, en particular, al sur.

Un mayor detalle espacial de las frecuencias y la tipología de los cambios de usos del suelo puede observarse en las figuras 5-44 y 5-45, correspondientes con el nivel 2 y 3 de CLC, respectivamente.

Los mapas aquí representados muestran dónde se han localizado las transiciones de usos del suelo en la región, detallando cuántos cambios de uso se han dado en cada mancha y cómo han sido dichos cambios. En la leyenda que figura en dichos mapas, la primera letra se corresponde con el año 1982, la segunda con el año 1990, la tercera con el año 2000 y la cuarta con el 2006. Cuando una letra cambia de estado, es decir, pasa de A a B, de B a C o de C a D, quiere decir que ha habido un cambio de uso del suelo.

Para una mayor comprensión, se explica con un ejemplo. Si en la leyenda se muestra ABBC, esto quiere decir que en el primer año (1982) el uso del suelo se corresponde con A, en el segundo año (1990) pasa a ser B, en el tercero (2000) se mantiene en B y en el cuarto (2006) pasa a ser C. Es decir, entre estos años las manchas correspondientes a esta transición han experimentado dos cambios, de A a B y de B a C, siendo registrado cada cambio entre 1982 y 1990 y entre 2000 y 2006, ya que entre 1990 y 2000 se mantiene estable.

Como se ha comentado previamente, estos análisis pueden servir para detectar posibles errores. Por ejemplo, si observamos la figura 5-44 correspondiente al nivel 2 de CLC puede verse que uno de los cambios que se ha dado es ABAA; esto quiere decir que en 1982 la categoría pertenecía al uso del suelo A, en 1990 esta categoría cambió a ser B y en el año 2000 vuelve a su estado inicial A, manteniéndose también dicha categoría en el año 2006; esta tipología de cambio es poco frecuente, por lo que estas manchas deben ser revisadas para determinar si esto es lo que ha sucedido en la realidad o si se trata de algún error.

MAPA DIN-A3

(Ver Carpeta “Mapas”)

Figura 5-44. Frecuencia y tipología de los cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid, a nivel 2 de CLC.

MAPA DIN-A3

(Ver Carpeta “Mapas”)

Figura 5-45. Frecuencia y tipología de los cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid, a nivel 3 de CLC.

Frecuencia y tipología de cambios de usos del suelo 1982-2006, CLC nivel 2

LEYENDA MAPA BASE

- Limite de Comunidad Autónoma
- Limite Provincial
- Autopista
- Autovía
- Río 1º y 2º orden
- Embalse, Laguna

BCN500, Base Cartográfica Nacional 1:500.000

Sistema de referencia geodésico: ETRS89 (compatible con WGS84)
Actualización, fecha de referencia: 2011
Fuentes: SPOT 2008-2010, datos IGN (provinciales, BTN25, Nomenclátor, BDL, SERDAG), MOC2010, INE (2010), MAP(2010), etc.
Proyección: Transverse_Mercator (Zona 30)
Unidad lineal: Metro

Frecuencia de cambios. Nivel 2 de CLC

- AAAA / sin cambio
- AAAB
- AABA
- AABB
- AABC
- ABAA
- ABAB
- ABAC
- ABBA
- ABBB
- ABBC
- ABCA
- ABCB
- ABCC
- ABCD

Frecuencias de cambios de usos del suelo y tipología del cambio entre 1982 y 2006, a nivel 2 de CLC.



Figura 5-44. Frecuencia y tipología de los cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid entre los años 1982, 1990, 2000 y 2006, a nivel 2 de CORINE Land Cover.

Frecuencia y tipología de cambios de usos del suelo 1982-2006, CLC nivel 3

LEYENDA MAPA BASE

- Limite de Comunidad Autónoma
- Limite Provincial
- Autopista
- Autovía
- Río 1º y 2º orden
- Embalse, Laguna

BCN500, Base Cartográfica Nacional 1:500.000

Sistema de referencia geodésico: ETRS89 (compatible con WGS84)
Actualización, fecha de referencia: 2011
Fuentes: SPOT 2008-2010, datos IGN (provinciales, BTN25, Nomenclátor, BDL, SERDAG), MOC2010, INE (2010), MAP(2010), etc.
Proyección: Transverse_Mercator (Zona 30)
Unidad lineal: Metro

Frecuencia de cambios. Nivel 3 de CLC

- AAAA / sin cambio
- AAAB
- AABA
- AABB
- AABC
- ABAA
- ABAB
- ABAC
- ABBA
- ABBB
- ABBC
- ABCA
- ABCB
- ABCC
- ABCD

Frecuencias de cambios de usos del suelo y tipología del cambio entre 1982 y 2006, a nivel 3 de CLC.



Figura 5-45. Frecuencia y tipología de los cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid entre los años 1982, 1990, 2000 y 2006, a nivel 3 de CORINE Land Cover.

5.3.4 Análisis de intensidad

Se muestran aquí los análisis de intensidad realizados a nivel de intervalo, a nivel de categoría y a nivel de transición.

Los resultados aquí presentados, dado el gran número de datos con los que se cuenta, se muestran únicamente a nivel 2 de CLC, salvo para el nivel de intervalo que también se muestra a nivel 3 de CLC. En cuanto a la intensidad a nivel de transición, dado que existen 42 transiciones diferentes para el nivel 2 de CLC en los tres periodos en total, se muestran los resultados de las dos transiciones que se han considerado como las más interesantes, esto es: los usos que han pasado a ser zonas urbanas y los usos que han ganado terreno a partir de las tierras de labor. Se presentan los datos correspondientes los tres periodos, 1982-1990, 1990-2000 y 2000-2006.

Para un mayor detalle, en el último apartado, se presentan también datos a nivel de categoría y a nivel de transición para el periodo entero de estudio, 1982-2006, utilizando el nivel 3 de CLC. A nivel de transición, se muestran solo los resultados de las transiciones que comprenden las dos categorías que anteriormente se han considerado para los otros periodos; esto es: las ganancias de las zonas urbanas se estudian mediante las transiciones que se han sucedido hacia el tejido urbano continuo y hacia el tejido urbano discontinuo; mientras que las pérdidas de las tierras de labor, se estudian observando hacia qué transicionan las tierras de labor en secano y los terrenos regados permanentemente.

5.3.4.1 A nivel de intervalo

La tabla 5-16 detalla la intensidad a nivel de intervalo para los tres periodos. En ella se observa que el porcentaje de cambio ha sido mayor en el periodo comprendido entre 1982 y 1990 que en los dos últimos periodos.

Intervalo	Cambio observado	Cambio anual	Velocidad uniforme de cambio	Cambio uniforme
1982-1990	15,81 <i>12,80</i>	1,98 <i>1,60</i>	1,24 <i>1,03</i>	9,93 <i>8,20</i>
1990-2000	8,08 <i>6,61</i>	0,81 <i>0,66</i>	1,24 <i>1,03</i>	12,42 <i>10,25</i>
2000-2006	5,91 <i>5,19</i>	0,98 <i>0,87</i>	1,24 <i>1,03</i>	7,45 <i>6,15</i>

Tabla 5-16. Análisis de intensidad a nivel de intervalo, en porcentajes con respecto al total, a nivel 3 de CLC, en negrita, y a nivel 2 de CLC en cursiva. En color verde se detalla el intervalo que ha crecido más rápido con respecto a la velocidad uniforme de cambio, y en color rosa, los intervalos que han crecido más lentamente con respecto a dicha velocidad.

Si se observa el cambio anual, este intervalo coincide también como el de mayor intensidad, lo que quiere decir que, a pesar de que la duración de este periodo es menor que la duración del segundo periodo, la intensidad de los cambios ha sido mayor; dicho cambio anual se ha producido, de hecho, bastante rápido, mientras que en los años 1990-2000 y 2000-2006, el cambio se ha producido relativamente lento.

El ratio de cambio no es uniforme a lo largo del periodo. Si la velocidad de cambio se hubiese mantenido constante para todo el conjunto temporal, esto es, a una tasa de cambio de 1,24 si observamos a nivel 3 de CLC, o a una tasa de 1,03 si observamos a nivel 2 de CLC, se deberían haber registrado valores de cambio más bajos para el periodo 1982-1990 (9,93% y 8,20% con respecto a 15,81% y 12,80% observados a nivel 3 y 2 de CLC, respectivamente), valores bastante más altos para el periodo 1990-2000 (12,42% y 10,25% con respecto a 8,08% y 6,61% observados a nivel 3 y 2 de CLC, respectivamente) y valores relativamente más altos para el periodo 2000-2006 (7,45% y 6,15% con respecto a 5,91% y 5,19% observados a nivel 3 y 2 de CLC, respectivamente).

5.3.4.2 A nivel de categoría

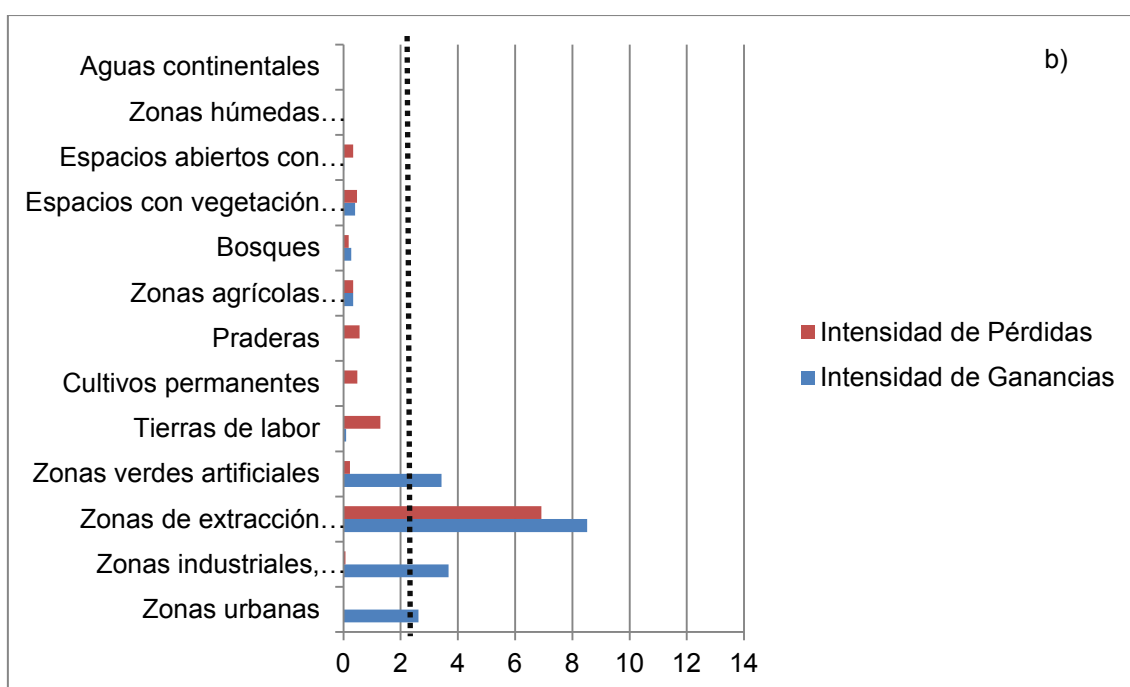
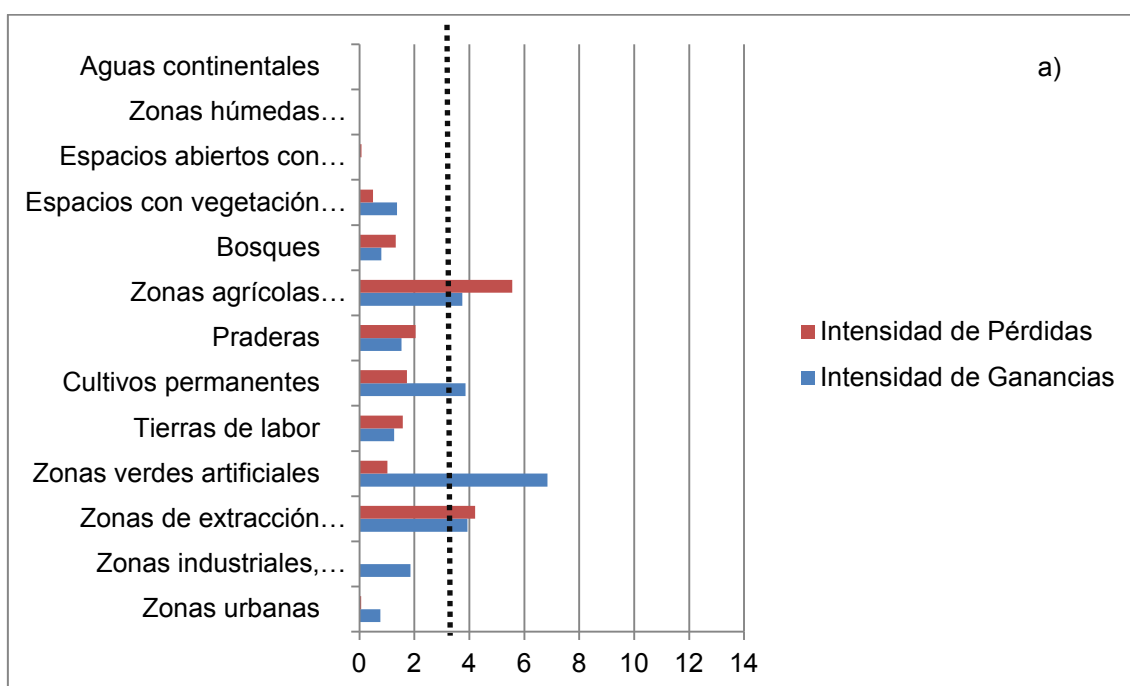
Los resultados obtenidos a nivel 2 de CLC para los tres intervalos estudiados (1982-1990; 1990-2000; y 2000-2006) a nivel de categoría se muestran en la figura 5-46.

El eje horizontal representa la intensidad de cambio anual durante el intervalo correspondiente, en porcentajes.

La línea vertical discontinua nos muestra la intensidad de cambio anual uniforme para todo el área de estudio; si la barra de una categoría, ya sea de ganancias brutas o de pérdidas brutas, se localiza a la izquierda de la línea uniforme, quiere decir que el cambio de dicha categoría se presenta de manera relativamente inactiva, mientras que si la barra se extiende a la derecha de dicha línea uniforme, el cambio es relativamente activo para esa categoría²⁷.

Esta figura permite observar la intensidad de actividad de las diferentes categorías, independientemente del tamaño que ocupan dichas categorías sobre el territorio.

²⁷ Aldwaik y Pontius (2012 y 2013) definen las categorías de usos del suelo que se localizan a la izquierda de la línea de cambio uniforme como *dormant* y las que se localizan a la derecha como *active*. En este estudio se ha referido a ellas como inactivas y activas respectivamente, teniendo en cuenta que una categoría considerada como inactiva es una categoría que ha experimentado cambios (pérdidas y/o ganancias) pero con una intensidad o velocidad de cambio inferior a la intensidad de cambio anual uniforme.



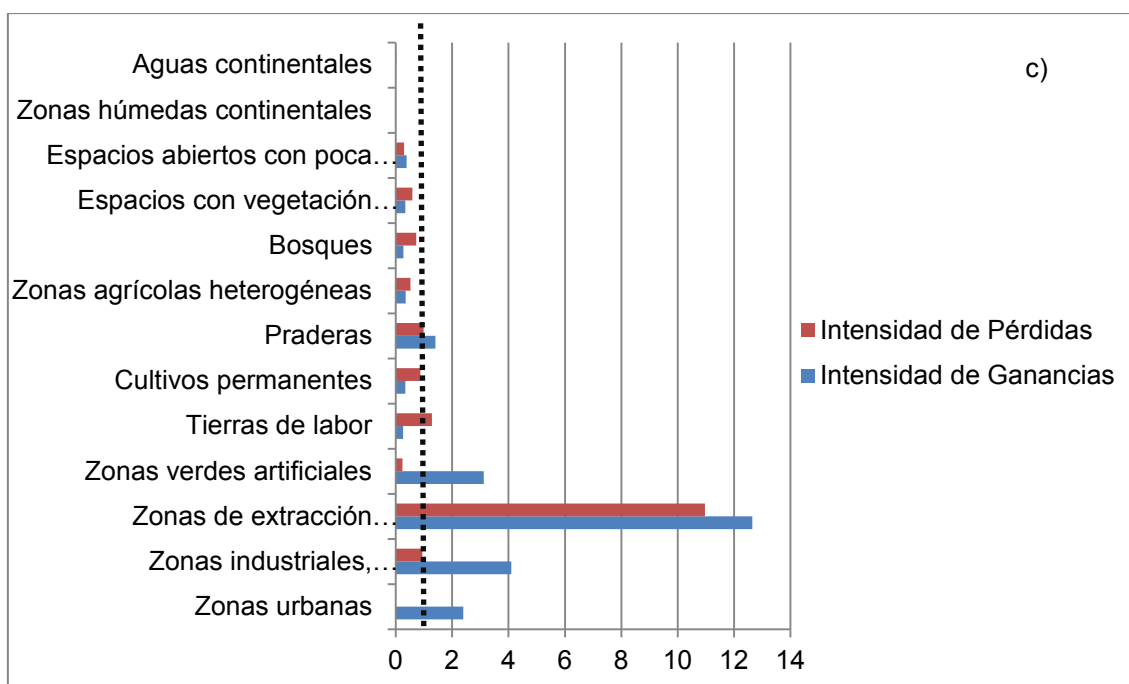


Figura 5-46. Análisis de intensidad de cambio anual por categorías, a nivel 2 de CLC, en ganancias y pérdidas brutas, en porcentajes. a) periodo 1982-1990; b) periodo 1990-2000; c) periodo 2000-2006. La línea recta corresponde a la línea de uniformidad, en cada periodo (a: LU 1,60; b: LU 0,66; c: LU 0,87).

Como puede observarse, las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción experimentan ganancias de manera muy intensa en comparación con otras categorías, ya que se extienden ampliamente a la derecha de la línea uniforme; dicha intensidad se produce en los tres intervalos de tiempo, lo cual indica que esta categoría es estacionaria²⁸ y experimenta una intensidad creciente en el tiempo.

Las zonas industriales, comerciales y de transporte, y las zonas verdes artificiales también experimentan ganancias de manera más intensa que otras categorías en los tres periodos de tiempo. Es, esta última, la que mayor intensidad presenta en el periodo 1982-1990.

En cuanto a las pérdidas, la categoría de extracción minera, vertederos y en construcción se presenta con mayor intensidad con respecto al resto de categorías en los tres periodos de tiempo, indicando que dicha categoría es estacionaria, tanto en intensidad de ganancias como en intensidad de pérdidas. Es, además, la que mayor intensidad de pérdidas posee en los periodos 1990-2000 y 2000-2006, mientras que en el primer periodo, 1982-1990, ésta se corresponde con las zonas agrícolas heterogéneas.

²⁸ Aldwaik y Pontius (2012 y 2013) definen que una categoría es *stationary* cuando la intensidad de cambio que experimenta dicha categoría posee el mismo patrón en todos los intervalos de tiempo. En este estudio se ha hecho una traducción literal del término, denominando este proceso como estacionario.

Existen categorías que se mantienen inactivas con respecto al resto. Éstas son las que se encuentran a la izquierda de la línea de uniformidad.

Para el periodo 1982-1990 destaca la inactividad, en cuanto las ganancias, de las tierras de labor y los bosques y, en cuanto a las pérdidas, de los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea. En el periodo 1990-2000 destaca la inactividad, en cuanto a las ganancias, de las tierras de labor (y lo mismo ocurre en el periodo 2000-2006) y, en cuanto a las pérdidas, la categoría de bosques; para el periodo 2000-2006 la mayor inactividad de pérdidas se da en los espacios abiertos con poca o sin vegetación.

Las aguas continentales y las zonas húmedas no presentan ninguna ganancia o pérdida, ya que no han experimentado ningún cambio durante los tres intervalos de tiempo que abarca este estudio.

5.3.4.3 A nivel de transición

Se presentan los resultados de las dos transiciones que se han considerado como las más interesantes, esto es: los usos del suelo que han pasado a ser zonas urbanas y las tierras de labor que han pasado a ser otros usos.

En las gráficas, el eje horizontal representa la intensidad de transición anual, como porcentaje de la categoría de ganancia de zonas urbanas (en el primer caso), y como porcentaje de la categoría de pérdida de tierras de labor (en el segundo caso).

La línea horizontal discontinua muestra la transición anual uniforme; las barras de categorías que están a la izquierda de dicha línea horizontal representan categorías que tienden a evitar dicha transición, mientras que las que están situadas a la derecha son las categorías que dirigen esa transición.

La figura 5-47 se corresponde con los resultados obtenidos de la transición desde otros usos al uso zonas urbanas, para los periodos 1982-1990 (a), 1990-2000 (b) y 2000-2006 (c), respectivamente.

La figura 5-48 se corresponde con los resultados obtenidos de la transición desde tierras de labor a otros usos, en los mismos periodos mencionados anteriormente.

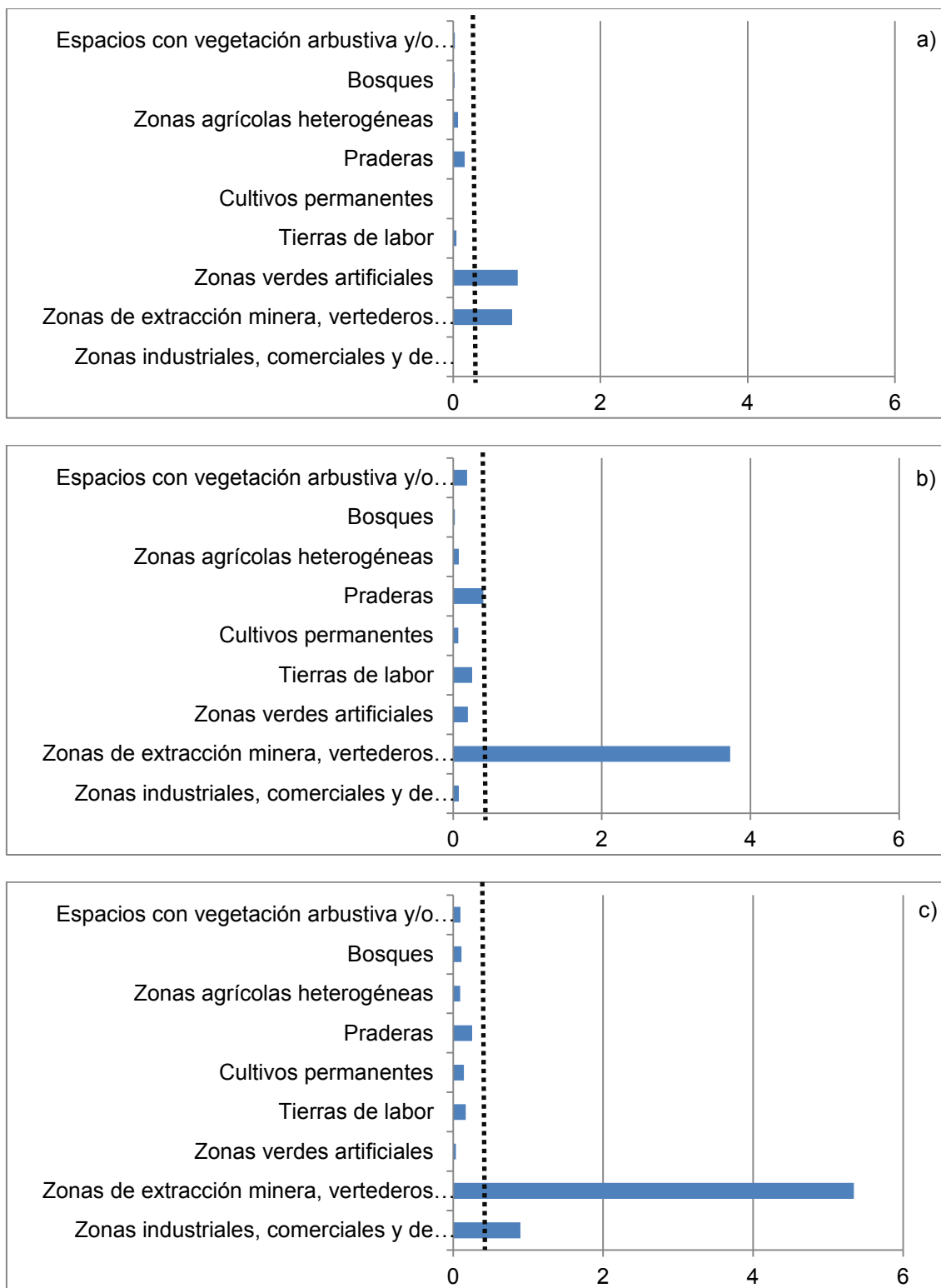


Figura 5-47. Análisis de intensidad de cambio anual por transición hacia zonas urbanas, a nivel 2 de CLC, en porcentajes. a) periodo 1982-1990; b) periodo 1990-2000; c) periodo 2000-2006. La línea recta corresponde a la línea de uniformidad, en cada periodo (a: LU 0,04; b: LU 0,19; c: LU 0,21).

Las zonas urbanas crecen más intensamente desde las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción, u otros usos artificiales, que desde usos agrícolas. Dicha ganancia, dirigida especialmente por la toma de zonas de extracción minera, vertederos y en construcción, se muestra en los tres periodos de estudio, lo que quiere decir que este proceso es estacionario.

En el intervalo 1982-1990, las zonas verdes artificiales, seguidas de los prados y praderas, son los usos del suelo que se muestran intensos en cuanto a su sustitución por zonas urbanas. Entre 1990-2000, destacan los prados y praderas y las tierras de labor, aunque muy por debajo de las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción. En el último periodo de estudio, 2000-2006, son las zonas industriales, comerciales y de transporte, así como los prados y praderas, las que se muestran con más intensidad, pero, también, de manera bastante menos enérgica que las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción.

Los usos del suelo que están representados a la izquierda de la línea de uniformidad pueden considerarse, en cuanto a la intensidad de cambio, que eluden o evitan su transición a zonas urbanas²⁹.

Las figura 5-48 muestra la intensidad de transición que se ha dado desde las tierras de labor hacia otros usos del suelo en los diferentes periodos.

Así, se observa que cuando las tierras de labor experimentan pérdidas, tienden a ser sustituidas, de forma intensiva, por zonas agrícolas heterogéneas, cultivos permanentes, zonas de extracción minera, vertederos y en construcción, y zonas industriales, comerciales y de transporte, en el periodo 1982-1990; por zonas de extracción minera, vertederos y en construcción, seguido de zonas industriales, comerciales y de transporte, y zonas urbanas entre 1990-2000; y por zonas de extracción minera, vertederos y en construcción y, en menor medida, por zonas industriales comerciales y de transporte, zonas verdes artificiales, y zonas urbanas. La categoría de zonas de extracción minera, vertederos y en construcción y las zonas industriales, comerciales y de transporte se comportan de manera estacionaria.

Los usos del suelo que se mantienen a la izquierda de la línea de uniformidad pueden considerarse que rehúyen las tierras de labor.

²⁹ Aldwaik y Pontius (2012 y 2013) definen a las categorías que están localizadas a la izquierda de la línea de uniformidad como categorías que se comportan de forma *avoid* en cuanto al cambio. Se ha hecho una traducción literal del término, denominándolas como categorías que eluden o evitan el cambio.

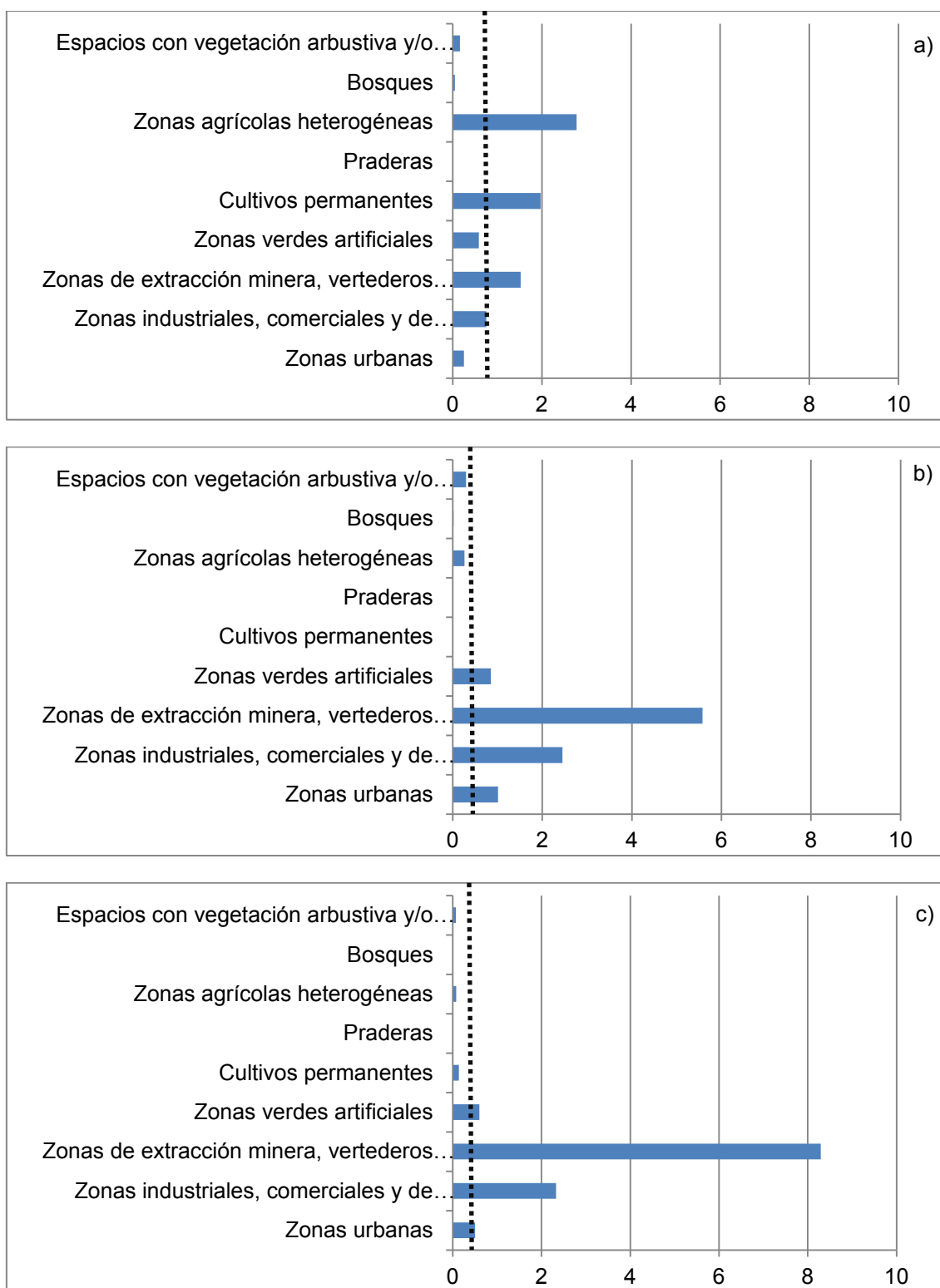


Figura 5-48 a, b y c. Análisis de intensidad de cambio anual por transición desde tierras de labor, a nivel 2 de CLC, en porcentajes. a) periodo 1982-1990; b) periodo 1990-2000; c) periodo 2000-2006. La línea recta corresponde a la línea de uniformidad, en cada periodo (a: LU 0,63; b: LU 0,48; c: LU 0,41).

5.3.4.4 Periodo global de estudio, 1982-2006.

Para obtener un mayor detalle, se presentan los resultados obtenidos a nivel de categoría y a nivel de transición para el periodo 1982-2006, a nivel 3 de CLC. A nivel de transición se muestran solo los resultados de las transiciones que comprenden las dos categorías que anteriormente se han considerado para los otros periodos; esto es: las ganancias de las zonas urbanas se estudian mediante las transiciones que se han sucedido hacia el tejido urbano continuo y hacia el tejido urbano discontinuo; mientras que las pérdidas de las tierras de labor se estudian observando hacia qué transicionan las tierras de labor en secano y los terrenos regados permanentemente.

Las figuras se muestran con la categoría numérica de CLC a nivel 3. Las definiciones de dichas categorías numéricas pueden consultarse en el anexo 3.

A nivel 3 de CLC y para todo el periodo estudiado (figura 5-49) se puede observar que las categorías que experimentan ganancias de manera muy intensiva, es decir, que se extienden ampliamente a la derecha de la línea uniforme, se corresponden con las zonas en construcción, las escombreras y vertederos, los frutales y las zonas verdes urbanas, seguidas de las zonas de extracción minera, las instalaciones deportivas y recreativas, y las zonas industriales o comerciales, entre otras.

En cuanto a las pérdidas, las categorías que presentan mayor intensidad se corresponden también con las dos categorías que mayor intensidad de ganancias tienen, es decir, las zonas en construcción y las escombreras y vertederos. Le siguen las zonas de extracción minera, terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural y semi-natural, los mosaicos de cultivos y las tierras de labor en secano.

Asimismo, existen categorías que se mantienen inactivas con respecto al resto en términos de intensidad; éstas son las que se encuentran a la izquierda de la línea de uniformidad. Destacar las que corresponden a los usos forestales; los bosques, tanto los de frondosas, coníferas o mixtos, así como los pastizales naturales y matorrales esclerófilos, se mantienen inactivos tanto en términos de intensidad de ganancias como de pérdidas.

Las aguas continentales y las zonas húmedas no presentan ninguna ganancia o pérdida, ya que no han experimentado ningún cambio durante todo el periodo de estudio.

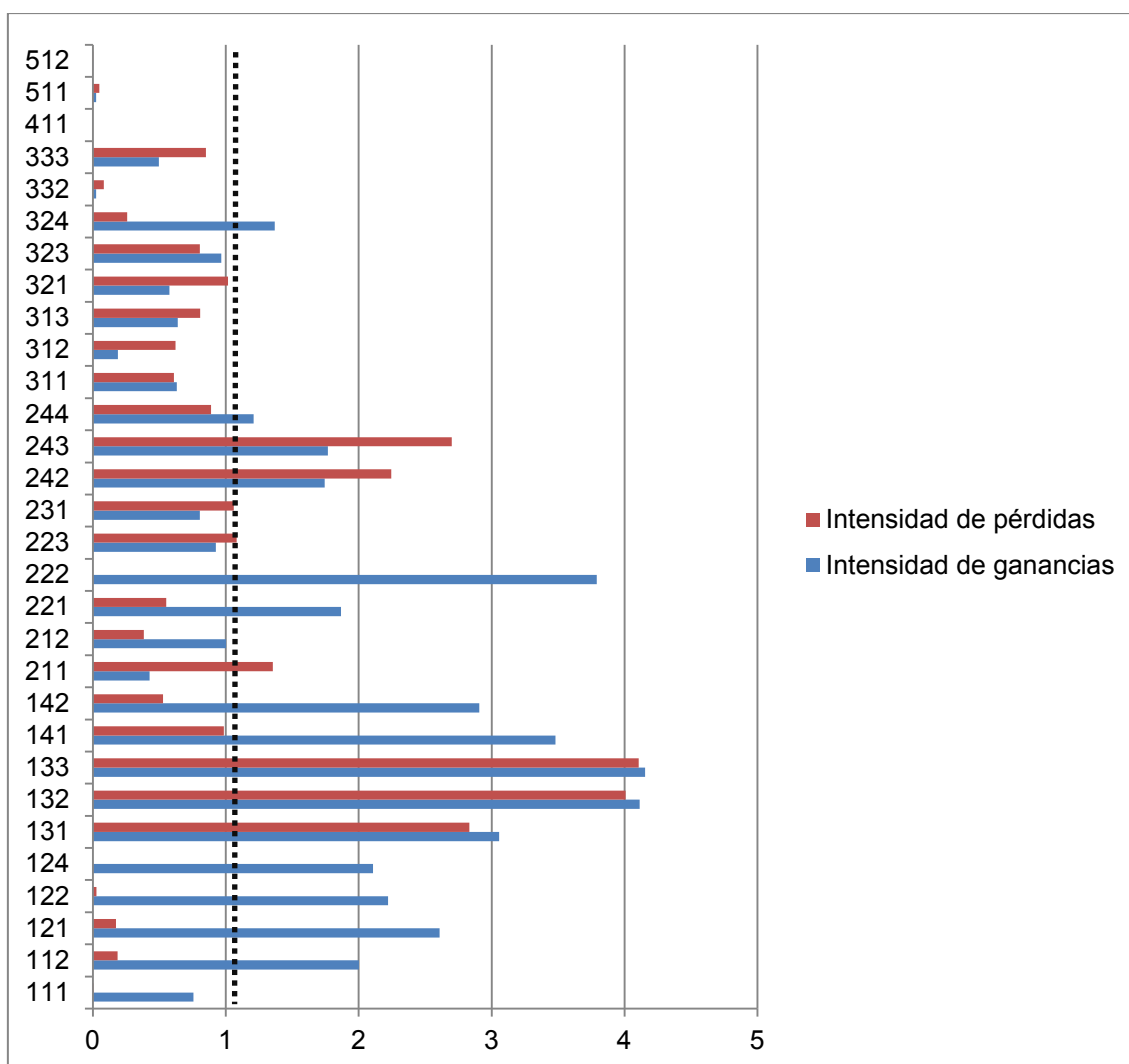


Figura 5-49. Análisis de intensidad de cambio anual por categorías, a nivel 3 de CLC, en ganancias y pérdidas brutas, en porcentajes, para el periodo 1982-2006. La línea recta corresponde a la línea de uniformidad (LU: 1,05).

Las figuras 5-50 y 5-51 muestran la intensidad a nivel de transición para las ganancias de la categoría de zonas urbanas, comprendida a nivel 3 de CLC, por el tejido urbano continuo (figura 5-50) y el tejido urbano discontinuo (figura 5-51).

Puede observarse que ambas categorías experimentan diferentes intensidades de transición, tanto en porcentajes (la mayor intensidad en el tejido urbano continuo se presenta en menos de 0,70%, mientras que en el tejido urbano discontinuo es superior al 3%) como en las diferentes categorías desde las que ganan superficie (son muchas más categorías las que transicionan a tejido urbano discontinuo que las que transicionan a tejido urbano continuo).

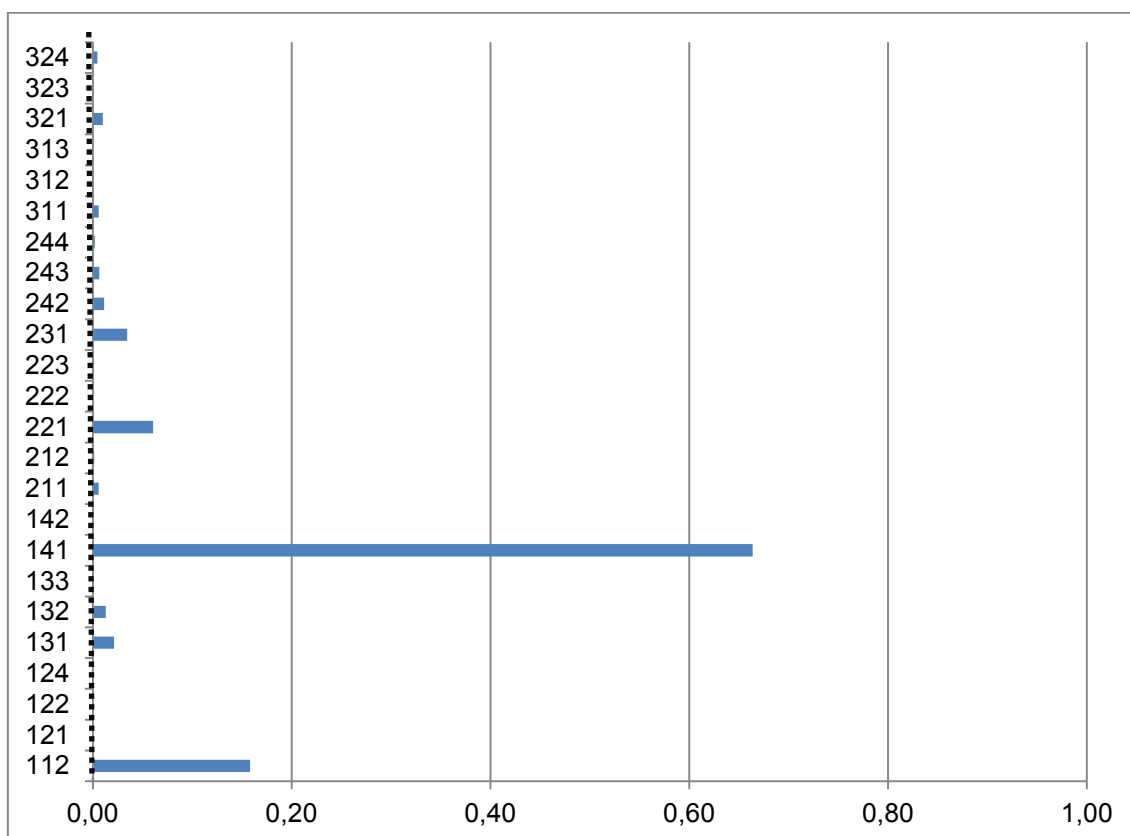


Figura 5-50. Análisis de intensidad de cambio anual por transición hacia tejido urbano continuo, a nivel 3 de CLC, en porcentajes, para el periodo 1982-2006. La línea recta corresponde a la línea de uniformidad (LU: 0,01).

Para el periodo global, 1982-2006, se observa que las zonas urbanas continuas crecen con gran intensidad desde las zonas verdes urbanas y, en menor medida, desde el tejido urbano discontinuo, viñedos y prados y praderas.

En cuanto a las zonas urbanas discontinuas (figura 5-51), la ganancia está dirigida especialmente por la toma de zonas en construcción, seguida, con menor intensidad, de las escombreras y vertederos, y de zonas de extracción minera, instalaciones deportivas y recreativas, y olivares.

Los usos del suelo que están representados a la izquierda de la línea de uniformidad, pueden considerarse, en cuanto a la intensidad de cambio, como que eluden su transición a zonas urbanas.

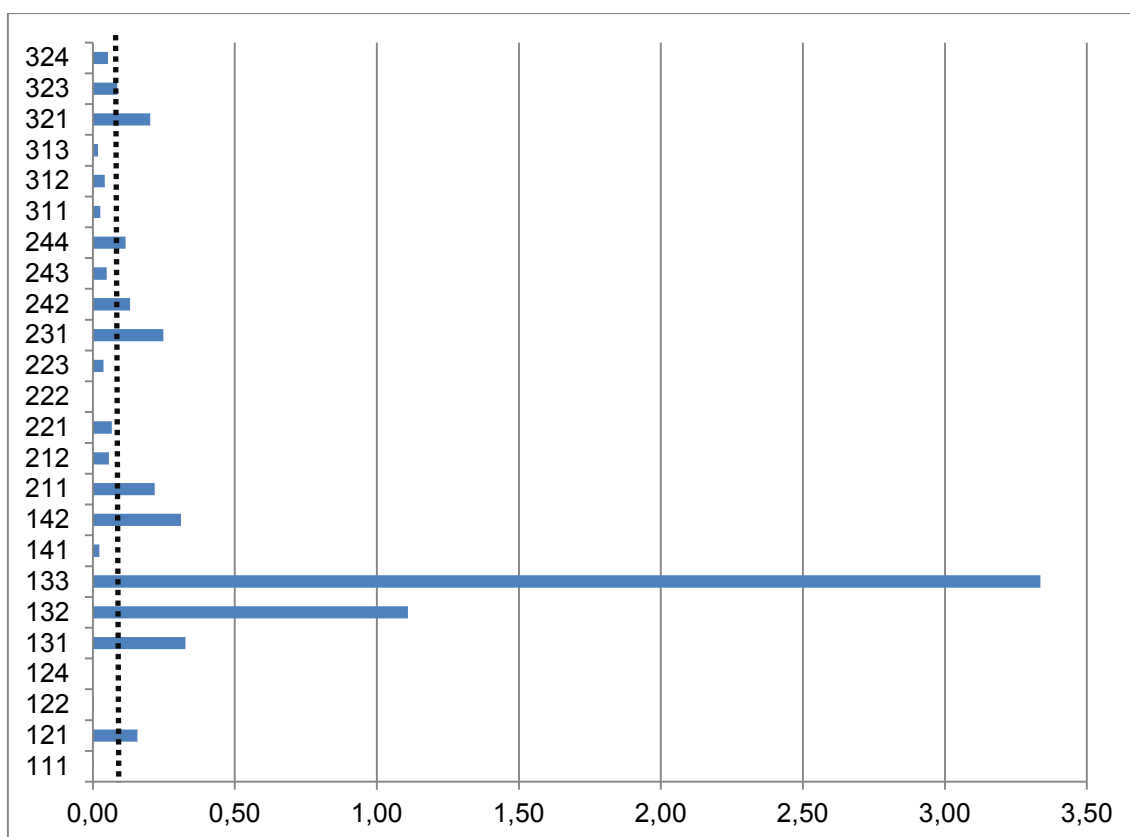


Figura 5-51. Análisis de intensidad de cambio anual por transición hacia tejido urbano discontinuo, a nivel 3 de CLC, en porcentajes, para el periodo 1982-2006. La línea recta corresponde a la línea de uniformidad (LU: 0,14).

En cuanto a la intensidad de las pérdidas a nivel de transición de las tierras de labor entre 1982 y 2006, se observan grandes diferencias entre las tierras de labor de secano (figura 5-52) y los terrenos regados permanentemente (figura 5-53).

Las transiciones que se han producido desde las tierras de labor en secano han sido mucho más numerosas que las que se han producido desde las tierras en regadío.

Las tierras de secano tienden a ser sustituidas, de forma muy intensiva, por zonas en construcción. Le siguen los aeropuertos, las zonas industriales o comerciales, los mosaicos de cultivos, las redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados, las zonas de extracción minera y los viñedos, entre otros.

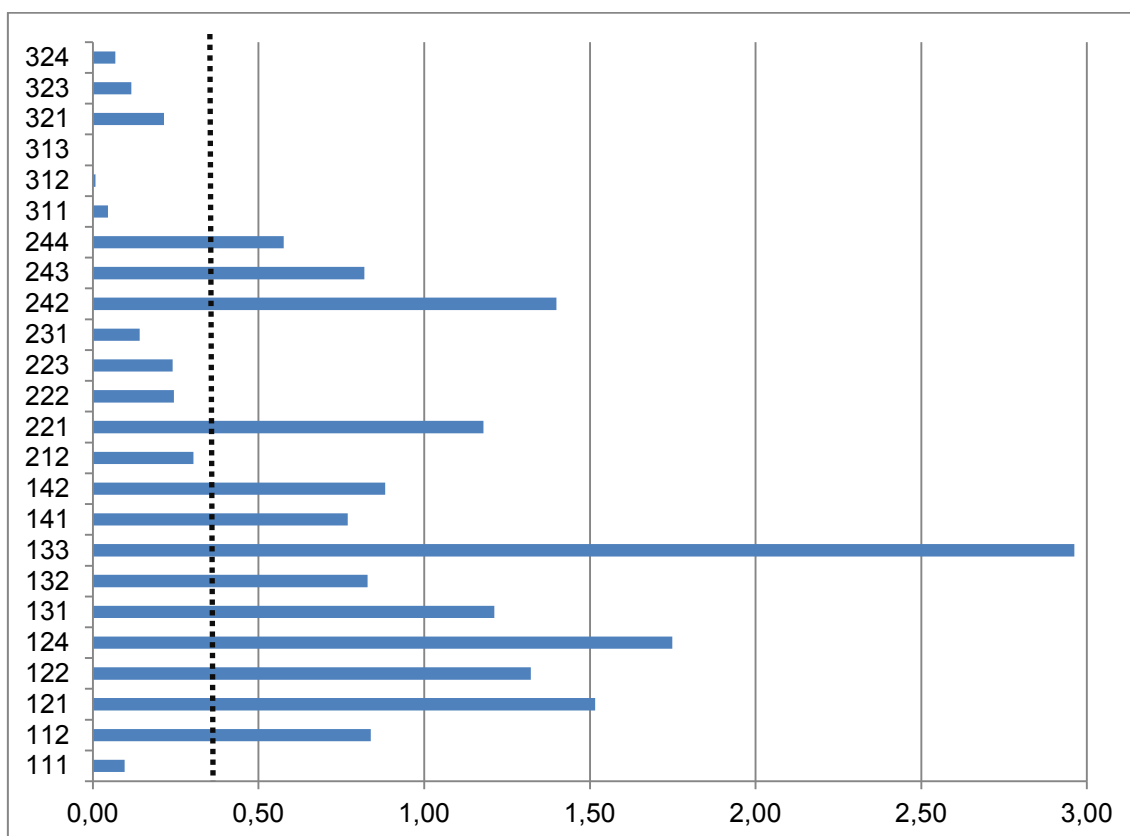


Figura 5-52. Análisis de intensidad de cambio anual por transición desde tierras de labor en seco, a nivel 3 de CLC, en porcentajes, para el periodo 1982-2006. La línea recta corresponde a la línea de uniformidad (LU: 0,43).

Los usos del suelo que se mantienen a la derecha de la línea de uniformidad pueden considerarse que, en cuanto a la intensidad de transición, suelen rehuir las tierras de labor.

En el caso de los terrenos regados permanentemente (figura 5-53), éstos tienden a ser sustituidos de forma muy intensiva por frutales. Le siguen, bastante por debajo, las escombreras y vertederos, las zonas de extracción minera y los aeropuertos.

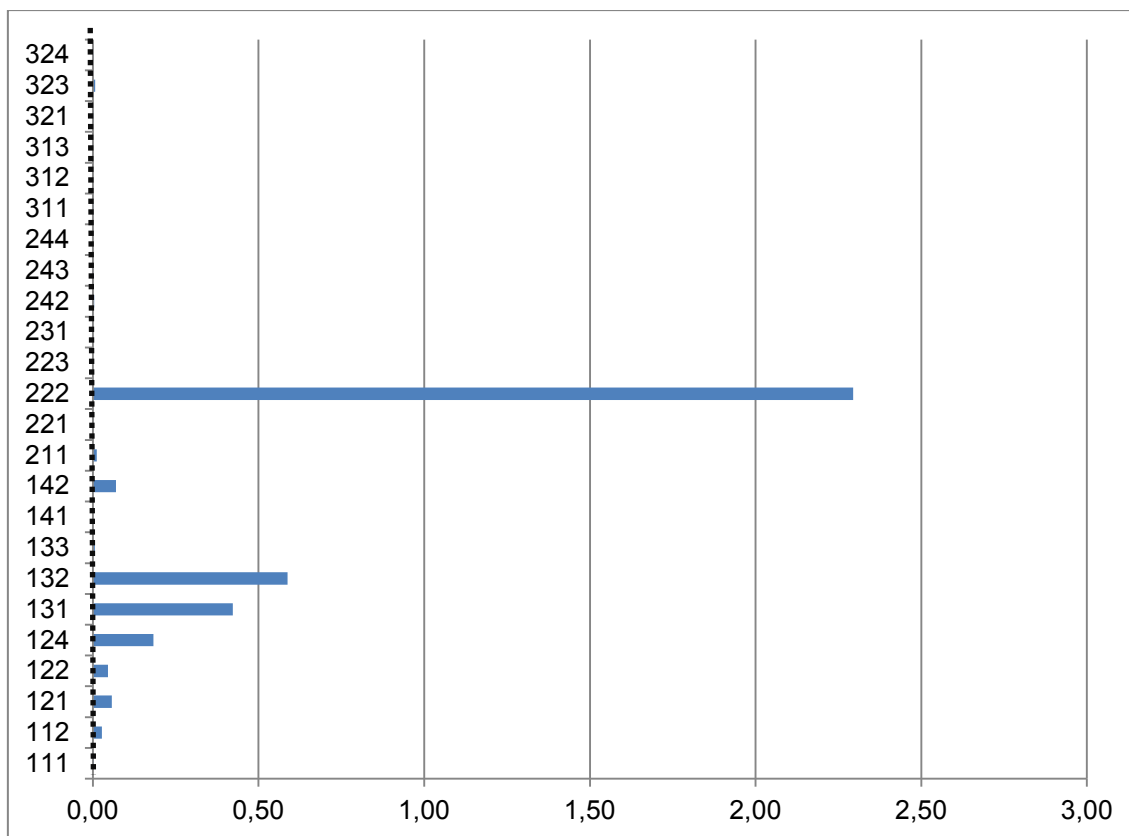


Figura 5-53. Análisis de intensidad de cambio anual por transición desde terrenos regados permanentemente, a nivel 3 de CLC, en porcentajes, para el periodo 1982-2006. La línea recta corresponde a la línea de uniformidad (LU: 0,01).

5.3.5 Análisis de inestabilidad temporal

Los análisis de inestabilidad temporal se han realizado para los cuatros años de estudio, divididos en tres intervalos, tanto a nivel 2 como a nivel 3 de CLC.

5.3.5.1 A nivel 2 de CLC

La figura 5-54 representa el cambio anual, en porcentaje, que se ha experimentado en cada periodo de tiempo, con respecto al área total de estudio, a nivel 2 de CLC. El ancho de cada barra está en relación con la duración de cada intervalo.

A nivel 2 de CLC, tal y como se reflejó en los resultados de intensidad a nivel de intervalo, es el primer periodo de tiempo el que alcanza unos valores de cambio anuales por encima de la línea de uniformidad o de cambio uniforme, por lo que puede decirse que se han producido cambios de forma relativamente rápida; los otros intervalos están por debajo de dicha línea, especialmente el correspondiente a los años 1990-2000.

La línea de uniformidad de cambio anual se sitúa en un valor correspondiente a las 8.229 ha. y el valor de inestabilidad alcanza el 19% para todo el periodo de estudio.

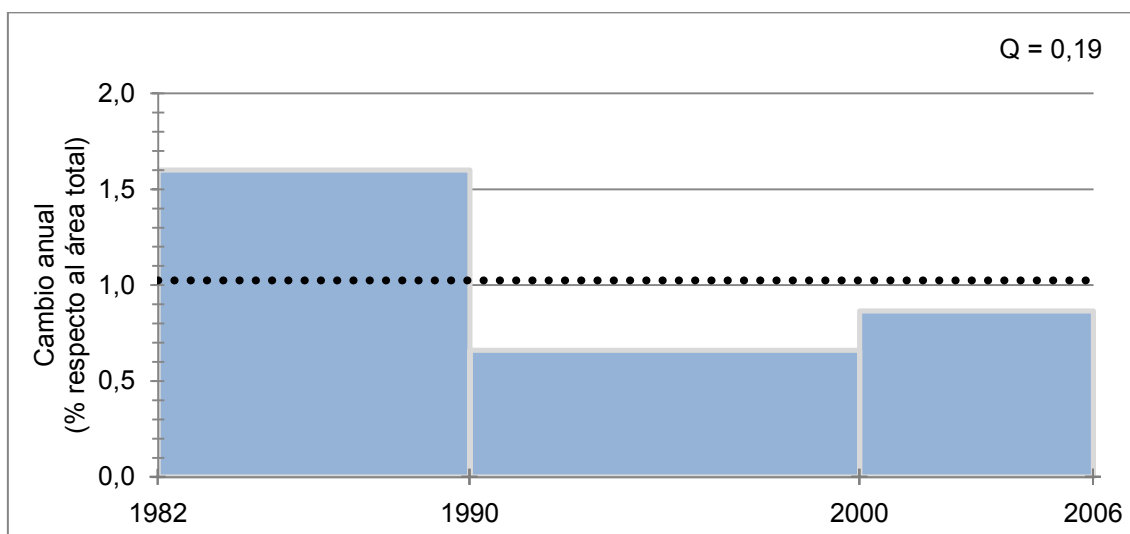


Figura 5-54. Cambio anual registrado en cada intervalo de estudio, en porcentaje con respecto al total, a nivel 2 de CLC. El porcentaje de cambio inestable es del 19%. La línea recta horizontal representa el cambio uniforme (LU: 1,03).

La tabla 5-17 muestra los cambios producidos con más detalle. En ella se indica el cambio total y el cambio anual que se ha producido en cada intervalo de tiempo, además de la diferencia que existe, total y anual, con respecto al valor de uniformidad registrado para el periodo de tiempo completo, en hectáreas.

Periodo	Cambio total	Cambio anual	Diferencia anual respecto a la uniformidad	Diferencia total respecto a la uniformidad
1982-1990	102.775	12.847	4.618	36.944
1990-2000	53.032	5.303	-2.926	29.256
2000-2006	41.685	6.947	-1.281	7.688

Tabla 5-17. Cambio total, cambio anual y diferencia anual y total con respecto al valor de cambio uniforme, para cada intervalo de tiempo, en hectáreas, a nivel 2 de CLC.

Por otra parte, la tabla 5-18 muestra la proporción, en tanto por 1, y las hectáreas anuales que pueden considerarse como cambio inestable, así como las que se consideran cambio estable³⁰.

³⁰ Runfola y Pontius (en revisión) definen como cambio inestable (*instable change*) la proporción de cambio que está por encima o por debajo del cambio anual uniforme para todo el periodo de estudio.

0,19	Proporción de cambio inestable
0,81	Proporción de cambio estable
1.539	Total hectáreas de cambio inestable anuales
6.689	Total hectáreas de cambio estable anuales

Tabla 5-18. Proporción de cambio inestable y estable, en tantos por 1, y total de hectáreas de cambio inestable y estable anual para todo el periodo, a nivel 2 de CLC.

5.3.5.2 A nivel 3 de CLC

A nivel 3 de CLC y, observando los resultados obtenidos en la figura 5-55 y en la tabla 5-19, puede decirse que el patrón de cambio registrado es exactamente igual que el observado a nivel 2 de CLC, donde sólo el primer intervalo de tiempo muestra un valor de cambio anual por encima de la línea de uniformidad, mientras que los dos siguientes se sitúan por debajo de ésta, teniendo el segundo un valor anual de cambio menor con respecto al último.

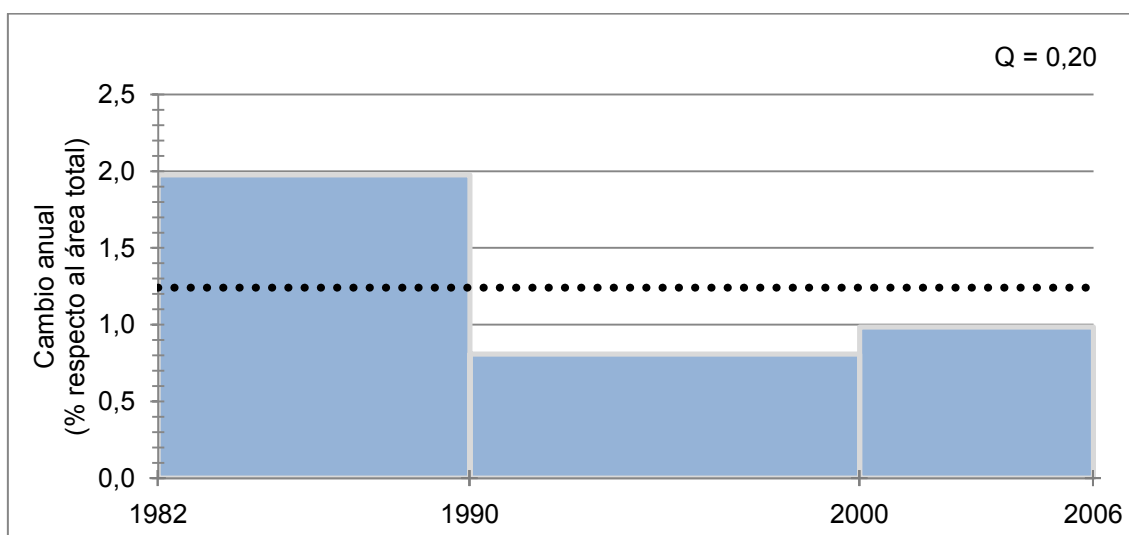


Figura 5-55. Cambio anual registrado en cada intervalo de estudio, en porcentaje con respecto al total, a nivel 3 de CLC. El porcentaje de cambio inestable es del 20%. La línea recta horizontal representa el cambio uniforme (LU: 1,24).

La utilización de 30 categorías diferentes, las correspondientes a nivel 3 de CLC, con respecto a las 13 presentes a nivel 2 de CLC, implica que se registren más cambios. Así, el cambio anual para el periodo 1982-1990, por ejemplo, es de 15.864 ha., mientras que en el nivel 2 de CLC es de 12.847 ha., y lo mismo ocurre para los periodos 1990-2000 y 2000-2006.

La línea de uniformidad se sitúa en un valor correspondiente a las 9.969 ha., esto es, en un cambio anual de 1,24%, con respecto al 1,03% registrado a nivel 2 de CLC.

Sin embargo, puede decirse que el comportamiento en cuanto al cambio es el mismo, independientemente de que se observen 30 o 13 categorías de usos del suelo.

Periodo	Cambio total	Cambio anual	Diferencia anual respecto a la uniformidad	Diferencia total respecto a la uniformidad
1982-1990	126.912	15.864	5.895	47.162
1990-2000	64.903	6.490	-3.479	34.785
2000-2006	47.436	7.906	-2.063	12.377

Tabla 5-19. Cambio total, cambio anual y diferencia anual y total con respecto al valor de cambio uniforme, para cada intervalo de tiempo, en hectáreas, a nivel 3 de CLC.

En cuanto a la inestabilidad (tabla 5-20), ésta se muestra en el 20%, tan sólo un 1% más que en CLC a nivel 2.

0,20	Proporción de cambio inestable
0,80	Proporción de cambio estable
1.965	Total hectáreas de cambio inestable anuales
8.004	Total hectáreas de cambio estable anuales

Tabla 5-20. Proporción de cambio inestable y estable, en tantos por 1, y total de hectáreas de cambio inestable y estable anual para todo el periodo, a nivel 3 de CLC.

5.3.5.3 Estabilidad temporal con los datos utilizados.

Como se observa en los apartados 5.3.5.1 y 5.3.5.2, los valores de cambio que se obtienen no son muy estables; puede decirse que existe un patrón cíclico de cambio en los diferentes puntos en el tiempo, lo que sugiere que en periodos de tiempo cortos el cambio es bastante inestable.

En este apartado se detallan, por tanto, los intervalos de tiempo que podrían considerarse como estables y cuáles serían los más inestables. Se realiza, a modo de ejemplo, a nivel 2 de CLC. Para ello, han sido estudiados todos los intervalos posibles.

Tal y como muestra la tabla 5-21, se puede considerar que la mayor estabilidad temporal, en cuanto al cambio de usos del suelo, se obtiene al analizar los intervalos 1982-2000 y 2000-2006, mientras que la menor estabilidad temporal queda registrada con los intervalos 1982-1990 y 1990-2006.

Estos dos casos son los que se detallan a continuación, representados ambos en la figura 5-56 y en la tabla 5-22.

Intervalos considerados	Inestabilidad	Estabilidad
1982-1990 y 1990-2000	0,22	0,78
1982-1990 y 1990-2006	0,24	0,76
1982-2000 y 2000-2006	0,03	0,97
1990-2000 y 2000-2006	0,07	0,93

Tabla 5-21. Inestabilidad y estabilidad temporal en el cambio para diferentes intervalos, en tantos por uno. Se muestra en rojo el que mayor inestabilidad posee y en azul el que menor inestabilidad tiene.

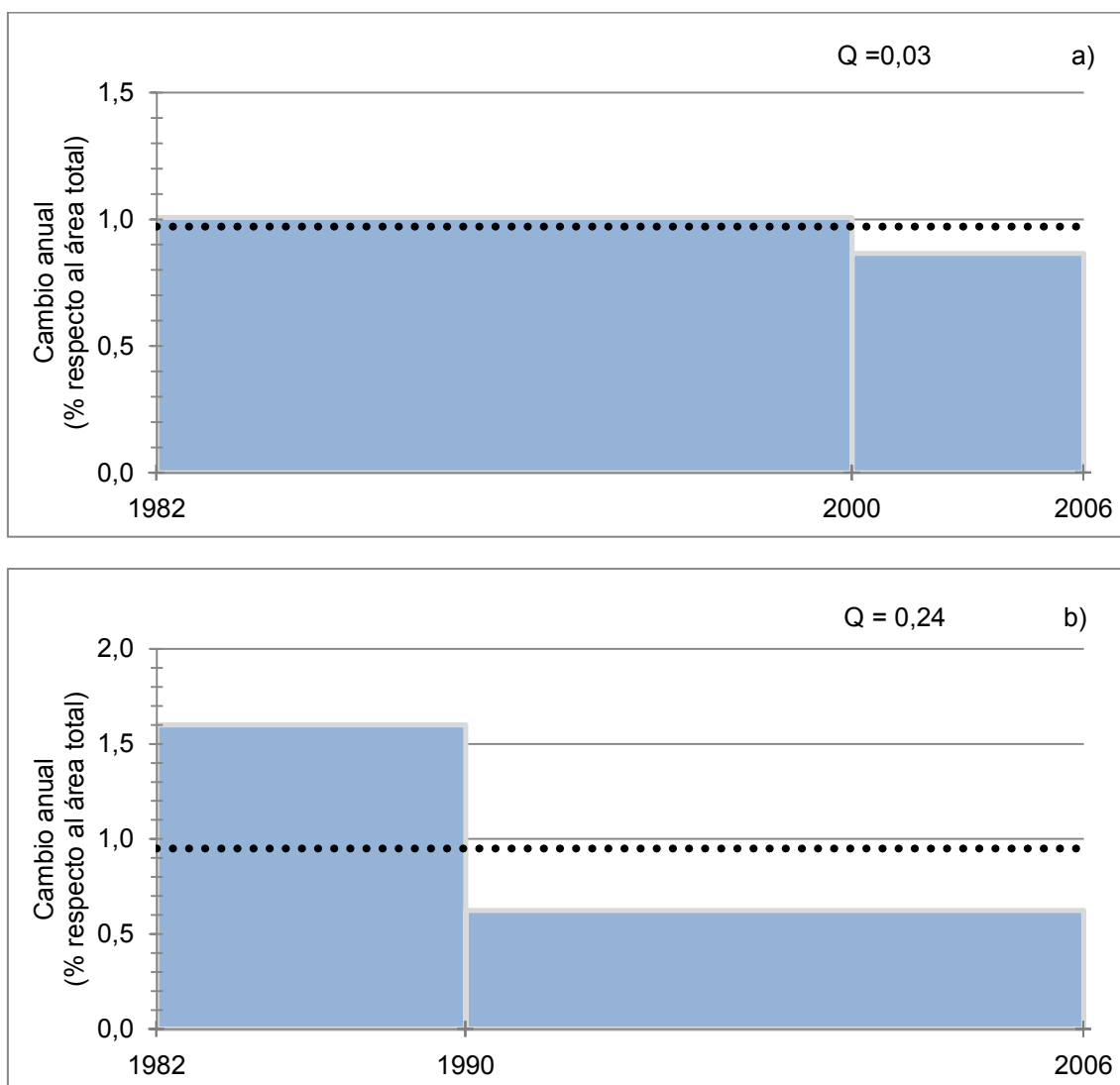


Figura 5-56. Cambio anual registrado en cada intervalo en los dos periodos estudiados, 1982-2000-2006 (a) y 1982-1990-2006 (b), en porcentaje con respecto al total. Se observan unos porcentajes de cambio inestables del 3% en el primer caso y del 24% en el segundo. La línea recta horizontal representa el cambio uniforme (LU: 0,97 y 0,95, respectivamente).

La figura 5-56 (a) y las tablas 5-21 y 5-22, muestran que la estabilidad temporal del periodo 1982-2000-2006 es prácticamente total; es por ello que las dos

barras que componen la figura están prácticamente a la misma altura. En este periodo existe un 3% de inestabilidad correspondiente con 213 ha. de cambio.

Su opuesto, en cuanto a la estabilidad, es el periodo 1982-1990-2006. Éste se detalla en la figura 5-56 (b) así como en las tablas 5-21 y 5-22, los cuales muestran un ejemplo de escala temporal con un cambio muy inestable, donde dicha inestabilidad alcanza un 24%, que se corresponde con 1.742 ha. de cambio.

Intervalos	Cambio inestable anual	Cambio estable anual
1982-2000 y 2000-2006	213	7.588
1982-1990 y 1990-2006	1.742	5.878

Tabla 5-22. Cambio inestable anual y cambio estable anual para cada periodo analizado, en hectáreas.

Este tipo de análisis tiene importancia a la hora de extrapolar los datos con los que se trabaja o, por ejemplo, para observar qué intervalo de tiempo podría utilizarse mejor para calibrar un escenario futuro de tipo tendencial.

Así, se puede considerar que en el primer periodo aquí estudiado (1982-2000 y 2000-2006), los procesos de cambio han sido estables. Esto también puede decirse para el periodo que comprende los intervalos 1990-2000 y 2000-2006, donde la inestabilidad es del 7%. Los resultados obtenidos de este estudio se han tenido en cuenta en la elaboración de los escenarios a futuro y, como se verá en el capítulo 6, es uno de los motivos por lo que no se ha incorporado la información proporcionada por el año 1982 en la construcción de éstos.

5.3.6 Análisis de agregación categórica.

La agregación realizada mediante similitud categórica permite agregar categorías entre sí que se comportan de la misma manera en cuanto al cambio, es decir, que tienen la misma trayectoria e intensidad de cambio. La ventaja, en cuanto a la agregación convencional que se realiza agregando las categorías de usos del suelo según su definición, se da, principalmente, en que se consigue reducir el número de categorías con el objetivo de simplificar la interpretación, pero manteniendo el porcentaje de cambio neto, por lo que se pierde menos información.

Este tipo de estudio permite, además, observar qué categorías son responsables de las mayores transiciones y cuáles son las que no explican prácticamente el cambio.

En este apartado se muestra un resumen de los resultados obtenidos del análisis de agregación categórica realizado para los siguientes pares de datos:

entre los años 1982 y 1990, entre 1990 y 2000, y entre 2000 y 2006, a nivel 2 y 3 de CLC.

Las diferentes categorías de CLC se muestran mediante una numeración del 1 a 30 para las 30 categorías diferentes de CLC nivel 3, y del 1 a 13 para las 13 categorías de CLC nivel 2, las cuales se corresponden con las definiciones presentes en el anexo 3.

Las tablas 5-23 a 5-28 muestran el comportamiento de cambio de cada categoría, observándose qué categorías son ganadoras netas (*net gaining*), perdedoras netas (*net losing*), ganadoras totales (*gainer only*), perdedoras totales (*losing only*) o inactivas (*dormant*) en cuanto al cambio. Muestran, además, el orden de agregación según el comportamiento de cambio señalado, garantizando que el cambio neto y el intercambio se mantienen estables. Las tres categorías que explican la mayor parte del cambio son las señaladas en rojo en tablas.

El algoritmo de agregación, como se ha detallado en la metodología, comienza agregando los *Exclusive Zero*, para continuar con los *Exclusive Loser* y *Exclusive Gainer* y terminar con los *Swapping*.

Cuando aparece una agregación de categorías, ésta se señala con el nombre Aggregated y el número correspondiente a la fila de dicha tabla que se está agregando; por ejemplo, la agregación Aggregated29 se corresponde con la fila 29, que incluye a la categoría 26 y 29, por lo que dicha agregación está compuesta de estas dos categorías. La categoría viene representada por el número al que corresponde, es decir, Category5, se corresponde con la categoría 5 que, en este caso, concierne a Aeropuertos.

En el periodo 1982-1990, tal y como se muestra en la tabla 5-23, la agregación de las 30 categorías de CLC a nivel 3 en 16 categorías diferentes consigue mantener el mismo cambio total (15,81%), intercambio (10,32%) y cambio neto (5,49%). Si se agrega a 10 categorías se mantiene prácticamente la misma cantidad de cambio total que se ha producido (15,67%) e incluso con 4 categorías se mantiene un 13,41% de cambio total, preservando en ambos casos la cantidad de cambio neto (5,49%). Si bien, el intercambio se reduciría a 10,18% y 7,92%, respectivamente.

A nivel 2 de CLC (tabla 5-24) se podría reducir de 13 a 11 categorías manteniéndose los mismos valores de cambio total (12,80%), cambio neto (4,13%) e intercambio (8,68%); si se redujese a 6 categorías se mantendría el cambio neto, el cambio total pasaría a ser un 12,76% y el intercambio un 8,63%.

Cat.	C.T	I	C.N.	Orden de Agregación	Tipo de agregación categórica
30	15,81	10,32	5,49	Category27 & Category28	N/Dormant & N/Dormant
29	15,81	10,32	5,49	Category5 & Category14	G/Gainer only & G/Gainer only
28	15,81	10,32	5,49	Aggregated 29 & Category10	G/Gainer only & G/Gainer only
27	15,81	10,32	5,49	Aggregated 28 & Category7	G/Gainer only & G/Gainer only
26	15,81	10,32	5,49	Category26 & Category29	L/Net losing & N/Persistence
25	15,81	10,32	5,49	Category15 & Aggregated 26	L/Net losing & L/Net losing
24	15,81	10,32	5,49	Category22 & Category30	G/Net Gaining & G/Net Gaining
23	15,81	10,32	5,49	Aggregated 25 & Category20	L/Net losing & L/Net losing
22	15,81	10,32	5,49	Category8 & Aggregated 24	G/Net Gaining & G/Net Gaining
21	15,81	10,32	5,49	Category1 & Category4	G/Net Gaining & G/Net Gaining
20	15,81	10,32	5,49	Category6 & Category16	L/Net losing & L/Net losing
19	15,81	10,32	5,49	Aggregated 21 & Aggregated 22	G/Net Gaining & G/Net Gaining
18	15,81	10,32	5,49	Category3 & Category9	G/Net Gaining & G/Net Gaining
17	15,81	10,32	5,49	Category2 & Aggregated 27	G/Net Gaining & G/Gainer only
16	15,81	10,32	5,49	Aggregated 19 & Aggregated 18	G/Net Gaining & G/Net Gaining
15	15,77	10,28	5,49	Aggregated 20 & Category21	L/Net losing & L/Net losing
14	15,77	10,28	5,49	Category13 & Category19	G/Net Gaining & G/Net Gaining
13	15,77	10,28	5,49	Aggregated 15 & Aggregated 23	L/Net losing & L/Net losing
12	15,77	10,27	5,49	Aggregated 16 & Aggregated 17	G/Net Gaining & G/Net Gaining
11	15,68	10,19	5,49	Category12 & Aggregated 14	G/Net Gaining & G/Net Gaining
10	15,67	10,18	5,49	Aggregated 12 & Category24	G/Net Gaining & G/Net Gaining
9	15,59	10,10	5,49	Aggregated 10 & Aggregated 11	G/Net Gaining & G/Net Gaining
8	15,47	9,97	5,49	Aggregated 13 & Category11	L/Net losing & L/Net losing
7	15,32	9,83	5,49	Category17 & Category23	L/Net losing & L/Net losing
6	15,13	9,64	5,49	Aggregated 7 & Category18	L/Net losing & L/Net losing
5	14,32	8,83	5,49	Aggregated 9 & Category25	G/Net Gaining & G/Net Gaining
4	13,41	7,92	5,49	Aggregated 8 & Aggregated 6	L/Net losing & L/Net losing

Tabla 5-23. Secuencia de agregación categórica para el periodo 1982-1990, a nivel 3 de CLC. Cat.: Número de categorías; C.T: Cambio total, en porcentajes; I: Intercambio, en porcentajes; y C.N: Cambio neto, en porcentajes.

Las categorías que afectan más seriamente al cambio, a nivel 3 de CLC, se corresponden con el matorral boscoso de transición, los matorrales esclerófilos y los terrenos regados permanentemente, teniendo éstas una dirección positiva en el cambio neto, y con los terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural, las tierras de labor en secano, los mosaico de cultivos y los pastizales naturales, con dirección negativa en el cambio neto. A nivel 2 de CLC, éstas se corresponden con los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea y los cultivos permanentes, en cuanto a ganancias netas, y con las zonas agrícolas heterogéneas y las tierras de labor, en cuanto a pérdidas netas.

Cat.	C.T	I	C.N.	Orden de Agregación	Tipo de agregación categórica
13	12,80	8,68	4,13	Category3 & Category11	L/Net losing & L/Net losing
12	12,80	8,68	4,13	Category4 & Category13	G/Net Gaining & G/Net Gaining
11	12,80	8,68	4,13	Category1 & Aggregated 12	G/Net Gaining & G/Net Gaining
10	12,79	8,66	4,13	Aggregated 11 & Category2	G/Net Gaining & G/Net Gaining
9	12,76	8,63	4,13	Aggregated 13 & Category7	L/Net losing & L/Net losing
8	12,76	8,63	4,13	Aggregated 10 & Category6	G/Net Gaining & G/Net Gaining
7	12,76	8,63	4,13	Aggregated 9 & Category9	L/Net losing & L/Net losing
6	12,76	8,63	4,13	Aggregated 7 & Category5	L/Net losing & L/Net losing
5	12,61	8,48	4,13	Aggregated 8 & Category10	G/Net Gaining & G/Net Gaining
4	12,38	8,25	4,13	Aggregated 6 & Category8	L/Net losing & L/Net losing

Tabla 5-24. Secuencia de agregación categórica para el periodo 1982-1990, a nivel 2 de CLC. Cat.: Número de categorías; C.T: Cambio total, en porcentajes; I: Intercambio, en porcentajes; y C.N: Cambio neto, en porcentajes.

En contraposición, algunas de las categorías que prácticamente no explican el cambio son las correspondientes con las categorías que aparecen en las primeras filas de la secuencia de agregación.

Éstas son, a nivel 3 de CLC, los espacios con vegetación escasa, humedales y zonas pantanosas, láminas de agua, cursos de agua, aeropuertos, instalaciones deportivas y recreativas, escombreras y vertederos o frutales, entre otras.

A nivel 2 de CLC no explican el cambio las zonas de extracción minera, los espacios abiertos con poca o sin vegetación, las zonas verdes artificiales, las aguas continentales o las zonas húmedas. Éstas son las categorías que son estables o prácticamente estables.

En el periodo 1990-2000, a nivel 3 de CLC (tabla 5-25) se pueden reducir las 30 categorías presentes a 14 categorías manteniéndose los mismos porcentajes de cambio total (8,08%), cambio neto (4,82%) e intercambio (3,26%); podría reducirse hasta 9 categorías, manteniéndose el mismo valor de cambio neto y reduciéndose el cambio total y el intercambio en un 0,05%.

A nivel 2 de CLC (tabla 5-26) podrían seguir manteniéndose los mismos valores de cambio total (6,61%), cambio neto (3,82%) e intercambio (2,79%) si redujésemos de las 13 categorías presentes a únicamente 10 categorías; si se redujese a 7 categorías, el cambio neto se seguiría manteniendo, mientras que el cambio total descendería al 6,58% y el intercambio al 2,76%.

Cat.	C.T	I	C.N.	Orden de Agregación	Tipo de agregación categórica
30	8,08	3,26	4,82	Category28 & Category29	N/Dormant & N/Dormant
29	8,08	3,26	4,82	Category26 & Aggregated 30	N/Dormant & N/Dormant
28	8,08	3,26	4,82	Aggregated 29 & Category30	N/Dormant & N/Dormant
27	8,08	3,26	4,82	Category14 & Category16	L/Loser only & L/Loser only
26	8,08	3,26	4,82	Category13 & Aggregated 27	L/Loser only & L/Loser only
25	8,08	3,26	4,82	Category4 & Category5	G/Gainer only & G/Gainer only
24	8,08	3,26	4,82	Category1 & Aggregated 25	G/Gainer only & G/Gainer only
23	8,08	3,26	4,82	Category7 & Category21	G/Net Gaining & G/Net Gaining
22	8,08	3,26	4,82	Aggregated 23 & Category22	G/Net Gaining & G/Net Gaining
21	8,08	3,26	4,82	Aggregated 22 & Category19	G/Net Gaining & G/Net Gaining
20	8,08	3,26	4,82	Category15 & Category27	L/Net losing & L/Net losing
19	8,08	3,26	4,82	Category10 & Category12	G/Net Gaining & G/Net Gaining
18	8,08	3,26	4,82	Category9 & Category20	G/Net Gaining & G/Net Gaining
17	8,08	3,26	4,82	Aggregated 26 & Category24	L/Loser only & L/Net losing
16	8,08	3,26	4,82	Aggregated 24 & Category18	G/Gainer only & G/Net Gaining
15	8,08	3,26	4,82	Aggregated 16 & Category6	G/Net Gaining & G/Net Gaining
14	8,08	3,26	4,82	Aggregated 15 & Aggregated 18	G/Net Gaining & G/Net Gaining
13	8,07	3,25	4,82	Aggregated 20 & Category17	L/Net losing & L/Net losing
12	8,07	3,24	4,82	Aggregated 14 & Category3	G/Net Gaining & G/Net Gaining
11	8,04	3,22	4,82	Aggregated 21 & Category8	G/Net Gaining & G/Net Gaining
10	8,04	3,22	4,82	Aggregated 19 & Category25	G/Net Gaining & G/Net Gaining
9	8,03	3,21	4,82	Aggregated 12 & Aggregated 11	G/Net Gaining & G/Net Gaining
8	7,86	3,04	4,82	Category2 & Aggregated 10	G/Net Gaining & G/Net Gaining
7	7,74	2,92	4,82	Category11 & Aggregated 13	L/Net losing & L/Net losing
6	7,74	2,92	4,82	Aggregated 17 & Category23	L/Net losing & L/Net losing
5	7,52	2,70	4,82	Aggregated 9 & Aggregated 8	G/Net Gaining & G/Net Gaining
4	6,62	1,80	4,82	Aggregated 7 & Aggregated 6	L/Net losing & L/Net losing

Tabla 5-25. Secuencia de agregación categórica para el periodo 1990-2000, a nivel 3 de CLC. Cat.: Número de categorías; C.T: Cambio total, en porcentajes; I: Intercambio, en porcentajes; y C.N: Cambio neto, en porcentajes.

En este periodo, las categorías que afectan más seriamente al cambio son la siguientes: A nivel 3 de CLC destacan, en cuanto a la dirección positiva del cambio, el tejido urbano discontinuo, las zonas industriales o comerciales, las zonas en construcción y el matorral boscoso de transición; en cuanto a la dirección negativa del cambio, destacan las tierras de labor en secano, los pastizales naturales, los mosaicos de cultivos y los matorrales esclerófilos.

A nivel 2 de CLC se corresponden, en cuanto a ganancias netas, a las zonas urbanas, zonas de extracción minera, vertederos y en construcción y bosques, y en cuanto a las pérdidas netas, con los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea y con las tierras de labor.

Cat.	C.T	I	C.N.	Orden de Agregación	Tipo de agregación categórica
13	6,61	2,79	3,82	Category12 & Category13	N/Dormant & N/Dormant
12	6,61	2,79	3,82	Category7 & Category11	L/Loser only & L/Net losing
11	6,61	2,79	3,82	Category6 & Aggregated 12	L/Net losing & L/Net losing
10	6,61	2,79	3,82	Category2 & Category4	G/Net Gaining & G/Net Gaining
9	6,60	2,78	3,82	Category3 & Category9	G/Net Gaining & G/Net Gaining
8	6,60	2,78	3,82	Aggregated 10 & Category8	G/Net Gaining & G/Net Gaining
7	6,58	2,76	3,82	Category1 & Aggregated 8	G/Net Gaining & G/Net Gaining
6	6,48	2,66	3,82	Category5 & Aggregated 11	L/Net losing & L/Net losing
5	6,46	2,64	3,82	Aggregated 7 & Aggregated 9	G/Net Gaining & G/Net Gaining
4	5,95	2,13	3,82	Aggregated 6 & Category10	L/Net losing & L/Net losing

Tabla 5-26. Secuencia de agregación categórica para el periodo 1990-2000, a nivel 2 de CLC. Cat.: Número de categorías; C.T: Cambio total, en porcentajes; I: Intercambio, en porcentajes; y C.N: Cambio neto, en porcentajes.

En contraposición, algunas de las categorías que prácticamente no explican el cambio en el periodo 1990-2000 son, a nivel 3 de CLC, los humedales y zonas pantanosas, láminas de agua, cursos de agua, roquedos, frutales, prados y praderas o viñedos, entre otras. A nivel 2 de CLC no explican el cambio las aguas continentales, las zonas húmedas continentales, los prados y praderas, los espacios abiertos con poca o sin vegetación o los cultivos permanentes.

En el último periodo, 2000-2006, las categorías presentes a nivel 3 de CLC (tabla 5-27) podrían reducirse a 13 categorías manteniéndose los mismos valores, en cuanto a porcentaje, de cambio total (5,91%), cambio neto (2,89%) e intercambio (3,02%). A nivel 2 de CLC (tabla 5-28) las categorías podrían ser reducidas de las 13 presentes a 9, también manteniendo los mismos valores de cambio total (5,19%), cambio neto (2,56%) e intercambio (2,63).

En cuanto a las categorías que afectan más seriamente al cambio en este último periodo destacan, a nivel 3 de CLC, las zonas en construcción, el tejido urbano discontinuo y el matorral boscoso de transición, éstas en cuanto a la dirección positiva del cambio; en cuanto a la dirección negativa del cambio, destacan los pastizales naturales, los matorrales esclerófilos y las tierras de labor en secano.

A nivel 2 de CLC se corresponden, en cuanto a ganancias netas, con las zonas de extracción minera, vertederos y en construcción y a las zonas urbanas, y en cuanto a las pérdidas netas, con los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea y las zonas agrícolas heterogéneas.

Cat.	C.T	I	C.N.	Orden de Agregación	Tipo de agregación categórica
30	5,91	3,02	2,89	Category1 & Category5	G/Gainer only & G/Gainer only
29	5,91	3,02	2,89	Category29 & Category30	L/Net losing & L/Loser only
28	5,91	3,02	2,89	Category14 & Category17	G/Net Gaining & G/Net Gaining
27	5,91	3,02	2,89	Category19 & Aggregated 29	L/Net losing & L/Net losing
26	5,91	3,02	2,89	Aggregated 27 & Category26	L/Net losing & L/Net losing
25	5,91	3,02	2,89	Category20 & Category27	G/Net Gaining & G/Net Gaining
24	5,91	3,02	2,89	Category7 & Aggregated 26	L/Net losing & L/Net losing
23	5,91	3,02	2,89	Aggregated 24 & Category15	L/Net losing & L/Net losing
22	5,91	3,02	2,89	Category9 & Aggregated 28	G/Net Gaining & G/Net Gaining
21	5,91	3,02	2,89	Category3 & Aggregated 25	G/Net Gaining & G/Net Gaining
20	5,91	3,02	2,89	Category10 & Category16	G/Net Gaining & G/Net Gaining
19	5,91	3,02	2,89	Category13 & Category22	L/Net losing & L/Net losing
18	5,91	3,02	2,89	Category6 & Aggregated 20	G/Net Gaining & G/Net Gaining
17	5,91	3,02	2,89	Category12 & Aggregated 19	L/Net losing & L/Net losing
16	5,91	3,02	2,89	Category18 & Category21	L/Net losing & L/Net losing
15	5,91	3,02	2,89	Aggregated 30 & Category4	G/Gainer only & G/Net Gaining
14	5,91	3,02	2,89	Aggregated 15 & Category2	G/Net Gaining & G/Net Gaining
13	5,91	3,02	2,89	Aggregated 21 & Aggregated 18	G/Net Gaining & G/Net Gaining
12	5,90	3,01	2,89	Aggregated 23 & Aggregated 17	L/Net losing & L/Net losing
11	5,88	2,99	2,89	Aggregated 22 & Category25	G/Net Gaining & G/Net Gaining
10	5,88	2,99	2,89	Aggregated 12 & Aggregated 16	L/Net losing & L/Net losing
9	5,86	2,97	2,89	Category8 & Aggregated 11	G/Net Gaining & G/Net Gaining
8	5,81	2,92	2,89	Aggregated 10 & Category11	L/Net losing & L/Net losing
7	5,71	2,82	2,89	Category23 & Category24	L/Net losing & L/Net losing
6	5,53	2,64	2,89	Aggregated 14 & Aggregated 13	G/Net Gaining & G/Net Gaining
5	5,34	2,45	2,89	Aggregated 8 & Aggregated 7	L/Net losing & L/Net losing
4	4,56	1,67	2,89	Aggregated 6 & Aggregated 9	G/Net Gaining & G/Net Gaining

Tabla 5-27. Secuencia de agregación categórica para el periodo 2000-2006, a nivel 3 de CLC. Cat.: Número de categorías; C.T: Cambio total, en porcentajes; I: Intercambio, en porcentajes; y C.N: Cambio neto, en porcentajes.

En contraposición, algunas de las categorías que prácticamente no explican el cambio en el periodo 2000-2006 son, a nivel 3 de CLC, las láminas de agua, cursos de agua, tejido urbano continuo, aeropuertos, roquedos, frutales, mosaicos de cultivos o sistemas agroforestales, entre otras.

A nivel 2 de CLC no explican el cambio las aguas continentales, los prados y praderas, los espacios abiertos con poca o sin vegetación, los cultivos permanentes o las zonas verdes artificiales. Éstas son las categorías que son estables o prácticamente estables.

Cat.	C.T	I	C.N.	Orden de Agregación	Tipo de agregación categórica
13	5,19	2,63	2,56	Category7 & Category11	G/Net Gaining & G/Net Gaining
12	5,19	2,63	2,56	Category6 & Category13	L/Net losing & L/Net losing
11	5,19	2,63	2,56	Category4 & Aggregated 13	G/Net Gaining & G/Net Gaining
10	5,19	2,63	2,56	Aggregated 12 & Category9	L/Net losing & L/Net losing
9	5,19	2,63	2,56	Category2 & Aggregated 11	G/Net Gaining & G/Net Gaining
8	5,18	2,62	2,56	Category5 & Aggregated 10	L/Net losing & L/Net losing
7	5,16	2,59	2,56	Aggregated 8 & Category8	L/Net losing & L/Net losing
6	5,05	2,49	2,56	Category1 & Aggregated 9	G/Net Gaining & G/Net Gaining
5	4,90	2,33	2,56	Aggregated 6 & Category3	G/Net Gaining & G/Net Gaining
4	4,17	1,61	2,56	Aggregated 7 & Category10	L/Net losing & L/Net losing

Tabla 5-28. Secuencia de agregación categórica para el periodo 2000-2006, a nivel 2 de CLC. Cat.: Número de categorías; C.T: Cambio total, en porcentajes; I: Intercambio, en porcentajes; y C.N: Cambio neto, en porcentajes.

Como se ha podido observar, las transiciones de usos del suelo que se han sucedido en los diferentes intervalos de tiempo estudiados son variadas y no se han dado con la misma intensidad. La tabla 5-29 nos muestra las categorías que han conseguido mantenerse hasta el final de la secuencia de agregación en cada intervalo, tanto a nivel 3 como a nivel 2 de CLC. Dichas categorías explican, por tanto, la mayor parte del cambio que se ha sucedido en cada periodo de tiempo.

Categorías desagregadas				
CLC Niv. 3			CLC Niv. 2	
	N. Cat.	Categoría	N. Cat.	Categoría
1982-1990	5	Matorral boscoso de transición	4	Zonas agrícolas heterogéneas
	6	Terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural	5	Espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea
	7		6	Tierras de labor
1990-2000	6	Pastizales naturales	4	Espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea
	7	Tierras de labor en seco	6	Tierras de labor
	8	Tejido urbano discontinuo	7	Prados y praderas
2000-2006	7	Pastizales naturales y Matorrales esclerófilos	4	Espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea
	8	Tierras de labor en seco	5	Zonas de extracción minera, vertederos y en construcción
	9	Zonas en construcción	6	Zonas urbanas

Tabla 5-29. Categorías que se mantienen prácticamente hasta el final de la secuencia de agregación en cada intervalo de tiempo estudiado, a nivel 3 y 2 de CLC, donde la primera columna representa el número de la categoría correspondiente, y la segunda, la definición de categoría o categorías que se mantiene.

La tabla 5-29 muestra que las categorías que se mantienen no son coincidentes entre los diferentes periodos de tiempo y tampoco coinciden con los resultados obtenidos en el periodo completo, 1982-2006; estas categorías,

por tanto, deberían permanecer desagregadas si se desea realizar una nueva clasificación. Si bien, las categorías que se mantienen estables o que prácticamente no explican el cambio podrían ser agregadas, ya que su agregación no implicaría prácticamente diferencias en los resultados y simplificaría la realización de los análisis.

Para concluir este apartado, se puede decir que, en caso de desear hacer una agregación categórica como la aquí detallada, es necesario analizar cada intervalo, por pares de datos, de manera individual, ya que si solo se analiza el periodo completo y se realiza una agregación según lo que se detalla en dichos resultados, se estará obviando cambios que ocurren dentro de dicho intervalo de tiempo que pueden ser importantes.

5.3.7 Corrección de errores encontrados en la cartografía

Los errores que fueron detectados durante la realización de los análisis de cambios en los mapas de base utilizados, en su mayoría debidos a la captación y/o en el registro de los datos, fueron corregidos utilizando como base la tabla 5-3 mostrada en el apartado 5.2.7.

Las diferentes figuras que se presentan aquí, muestran la localización de los errores que fueron encontrados en CLC y que fueron corregidos. A su vez, se muestran dos ejemplos para cada año que detallan el procedimiento de corrección mediante la superposición de cada polígono que presentaba incongruencias con imágenes de satélite y fotografías aéreas de años cercanos a la realización de dichos mapas.

El porcentaje que se ha corregido en cada mapa viene a representar entre el 1% y el 2% del total de la CM. A pesar de este trabajo llevado a cabo, es de esperar que siga habiendo otros errores no tan fácilmente detectables.

La figura 5-57 representa los errores que se encontraron y que fueron corregidos en el mapa CLC correspondiente al año 1990, los cuales fueron revelados al presentar incongruencias en el resultado que se obtenía al cruzar dicho mapa con los datos de los años 2000 y 2006.

Como puede observarse, dichos errores se distribuyen prácticamente por toda la región, destacando el área alrededor de la metrópoli urbana de Madrid así como la zona más occidental. Las áreas 1 y 2, señaladas en dicha figura, se han escogido para ejemplificar dos errores encontrados y el proceso de corrección al que fueron sometidos.

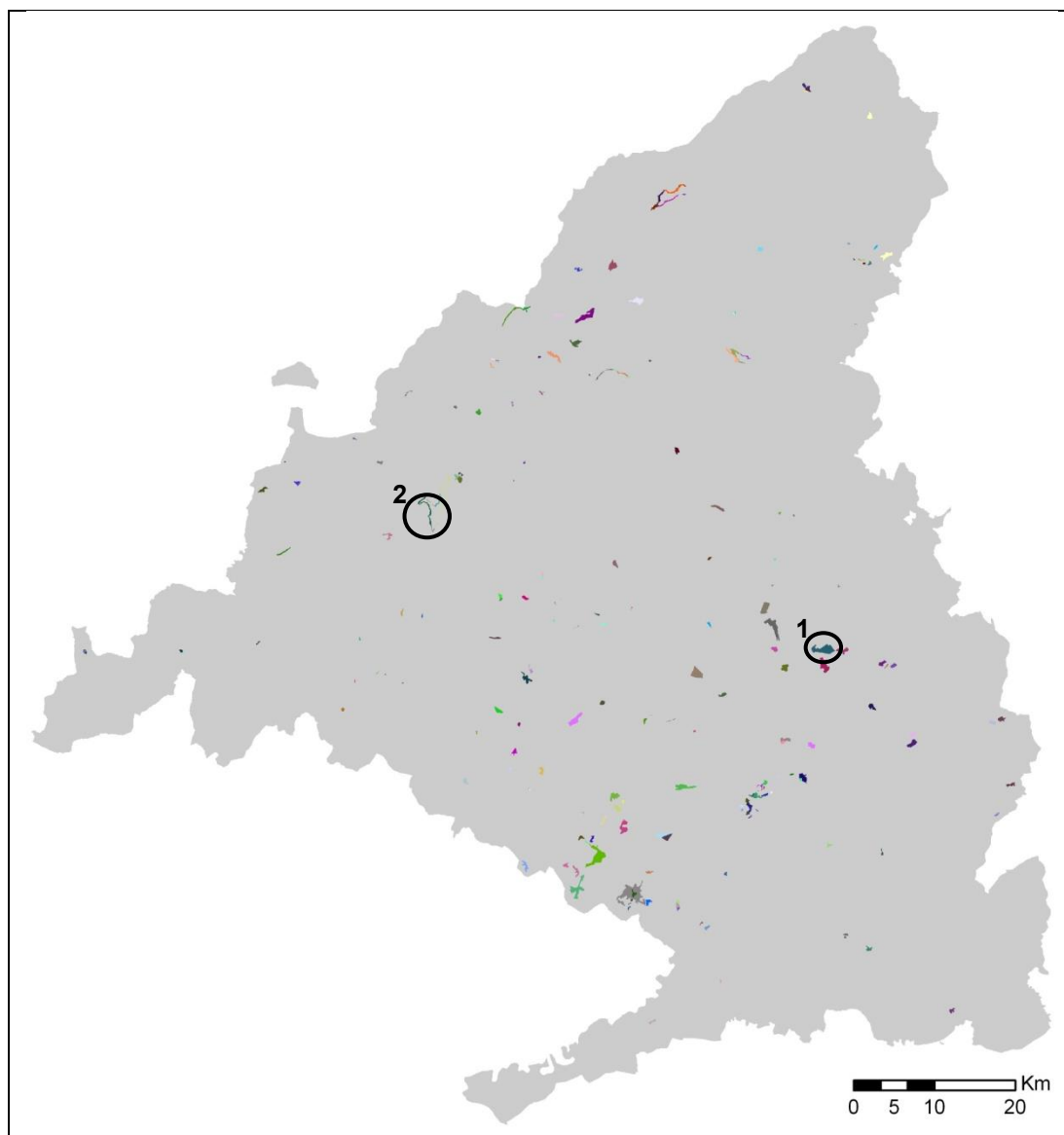


Figura 5-57. Localización de errores encontrados en CLC 90 nivel 3 y que fueron sometidos a un proceso de corrección. Formato ráster con un tamaño de píxel 50 m. Los números se corresponden con dos ejemplos que son representados con más detalle a continuación.

En la figura 5-58 se detallan los dos ejemplos de correcciones efectuadas en el CLC 90. En ambos ejemplos, la corrección se efectuó mediante la superposición de las áreas que se estimaban erróneas con una imagen Landsat tomada en el año 1987 y comparándose también con los mapas CLC de los años 2000 y 2006 para observar si dichas zonas habían experimentado cambio o, de lo contrario, permanecían estables. Los números incorporados se corresponden con las categorías pertenecientes a CLC nivel 3 y, en todos los casos, aparece superpuesta la imagen Landsat.

El caso a) muestra el mapa CLC 90 original, mientras que el caso b) muestra el mapa CLC 06. La corrección efectuada se realizó tomando como base el mapa

b). El mapa del 2006 es mostrado para que pueda observarse la fuente del error al cruzar ambos mapas.

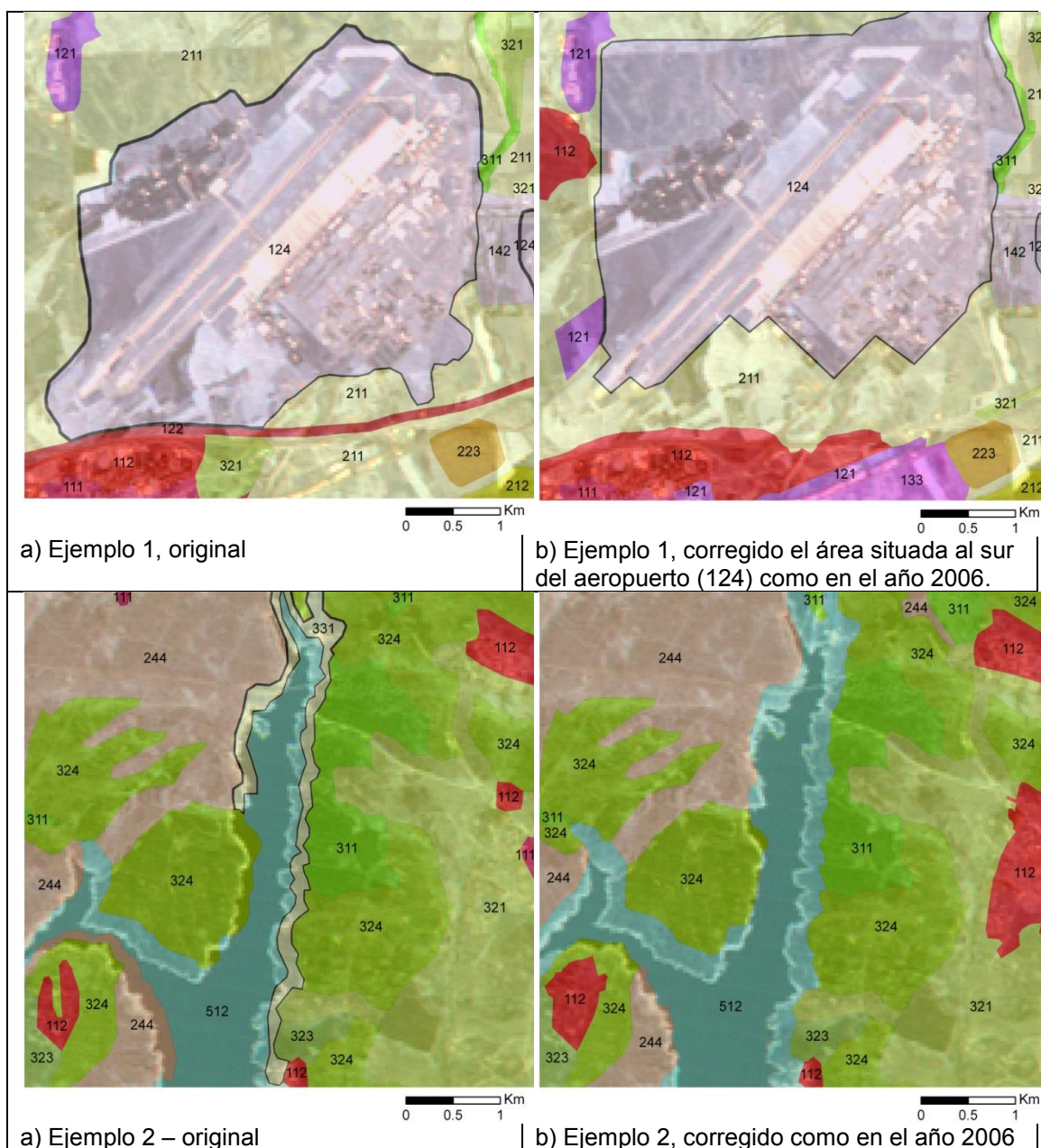


Figura 5-58. Ejemplos de correcciones efectuadas en CLC 90, a nivel 3 de CLC.

Así, en el ejemplo 1, se puede observar un área designada por la categoría 124, correspondiente con aeropuertos; el sur de esta mancha está representada, en el año 2006, como 211, es decir, como tierras de labor en secano, mientras que en el año 1990 permanece como 124, por lo que se está registrando un cambio desde un uso aeroportuario hacia un uso agrícola. La superficie aeroportuaria es muy difícil que desaparezca y observando la imagen satelital puede considerarse que no ha sido correctamente cartografiada en el año 1990; es por ello que se decide representar el aeropuerto tal y como se detalla en el caso b).

El ejemplo 2 muestra un área alrededor del embalse (categoría 512) cartografiada como 331, es decir, playas, dunas y arenales. Esta categoría fue eliminada en este estudio, ya que aparecía únicamente en los bordes de los embalses y es dependiente de la cantidad de agua que contiene cada embalse en una determinada fecha, por lo que no representa un cambio de uso real. Tanto para el dato de 1990 como para el dato del año 2000 se tomaron como base los límites de los embalses representados en CLC 06. Es por ello que el área que se representa en dicho ejemplo como 331 fue incorporada a la categoría 512, tal y como se detalla en el caso b).

La figura 5-59 representa los errores que se encontraron y que fueron corregidos en el mapa CLC correspondiente al año 2000.

La distribución espacial de estos errores es similar al mapa de la figura 5-57, siendo, en su mayoría, manchas de pequeño tamaño que se corresponden con *slivers*. En este caso, los errores fueron corregidos superponiendo dichas manchas con ortofotografías del año 1999 y comprándose también con los datos de los años 1990 y 2006.

La figura 5-60 detalla dos ejemplos de las correcciones llevadas a cabo para este año, que se corresponden con las áreas señaladas como 1 y 2 localizadas en la figura anterior.

Al igual que en los dos ejemplos mostrados en el año 1990, la figura de la izquierda muestra el mapa sin corregir, en este caso se corresponde con el CLC 00, mientras que la figura de la derecha muestra el mapa CLC 06, ambos con superposición de la ortofoto de 1999; estos ejemplos se corrigieron, pues, tomando como base el mapa del año 2006. Al mostrar en los ejemplos el mapa de 2006 puede observarse la fuente del error que se obtiene al cruzarlo con el mapa del año 2000.

En el ejemplo 1 se muestran dos manchas que fueron corregidas, éstas se corresponden con las representadas en el año 2000 (caso a) como 121 (zonas industriales o comerciales) y que en el año 2006 (caso b) aparecen como 141 (zonas verdes urbanas) y 112 (tejido urbano discontinuo), transiciones que pueden considerarse como raras.

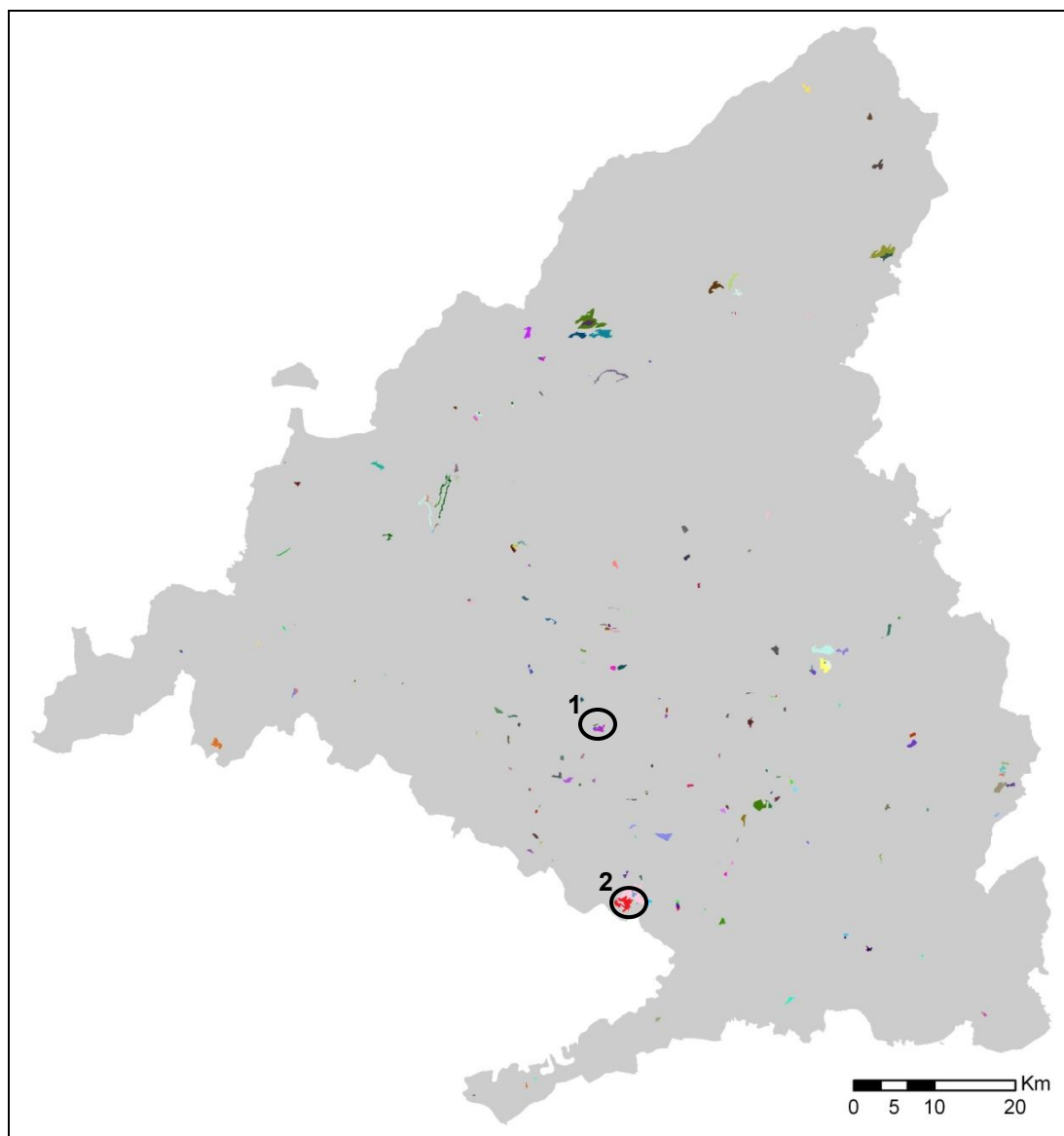


Figura 5-59. Localización de errores encontrados en CLC 00 nivel 3 y que fueron sometidos a un proceso de corrección. Formato ráster con un tamaño de píxel 50 m. Los números se corresponden con dos ejemplos que son representados con más detalle a continuación.

Así, en el caso a) puede observarse que la mancha morada, perteneciente a la categoría 121 (zonas industriales o comerciales), en su parte más septentrional, está representada en el año 2006 (caso b) como 141 (zonas verdes urbanas); esto se debe a una mayor precisión y detalle en la toma de datos de CLC 06, donde se ha cartografiado el área registrada entre dos espacios artificiales. Por otra parte, el sur de esta mancha aparece erróneamente cartografiada en CLC 00 como zonas industriales o comerciales (121), cuando debería haberse cartografiado como tejido urbano, tal y como se detalla en CLC 06 (caso b). Un mayor detalle de la zona puede observarse la figura 5-61, en la que se muestra la ortofoto de 1999 de la zona indicada sin ningún detalle adicional.

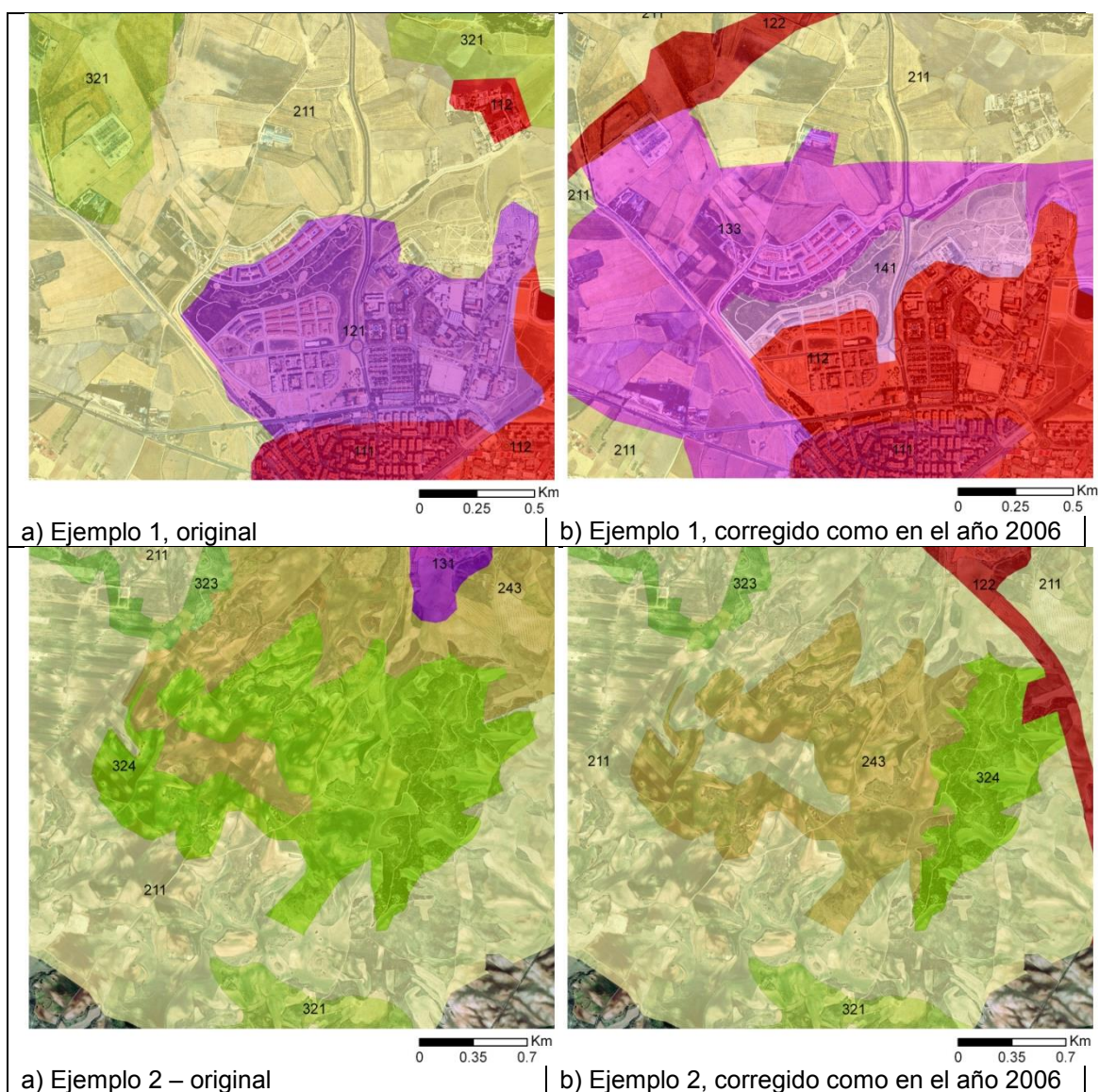


Figura 5-60. Ejemplos de correcciones efectuadas en CLC 00, a nivel 3 de CLC.

Asimismo, en el ejemplo 1, caso a) hay una zona en rojo correspondiente con 112, la cual no está representada en el caso b); esto también supone un error ya que se está dando un falso cambio entre los años 2000 y 2006 desde tejido urbano discontinuo a tierras de labor.

En el ejemplo 2, en el caso a) se observa una gran mancha verde correspondiente a la categoría 324 (matorral boscoso de transición), la cual, parte de ella, está representada en CLC 06 (caso b) como 243 (terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural). Esta transición también puede considerarse extraña. Observando la otrofoto del año 1999 se consideró que dicha área no había sufrido ningún cambio con respecto a CLC 06, por lo que se representó tal y como se muestra en este último año.



Figura 5-61. Detalle de la ortofotografía de 1999 correspondiente a lo representado en la figura 5-60, ejemplo 1.

Por último, la figura 5-62 detalla los errores encontrados y que fueron posteriormente corregidos en el mapa CLC correspondiente al año 2006.

Como puede observarse, la mayoría se corresponde con una red de carreteras que, sorprendentemente, “desaparecen” en la cartografía de dicho año. La figura 5-63, el ejemplo 1, muestra este tipo de error, mientras que la gran mancha que aparece al sur se detalla en el ejemplo 2.

La corrección de las manchas se efectuó mediante la superposición de dichas áreas con la ortofotografía perteneciente al SIGPAC, del año 2002; también se comparó con los mapas CLC 90 y CLC 00.

Así, el ejemplo 1 (figura 5-63) detalla un tramo de la autopista A-1 que no está cartografiado en CLC 06 (caso a), pero que sí está representado en CLC 90 (caso b), y también lo está en CLC 00. Todos los tramos de carreteras (122) que aparecen en la figura 5-62 fueron insertados en el mapa tal y como aparecen en CLC 90 y/o CLC 00.

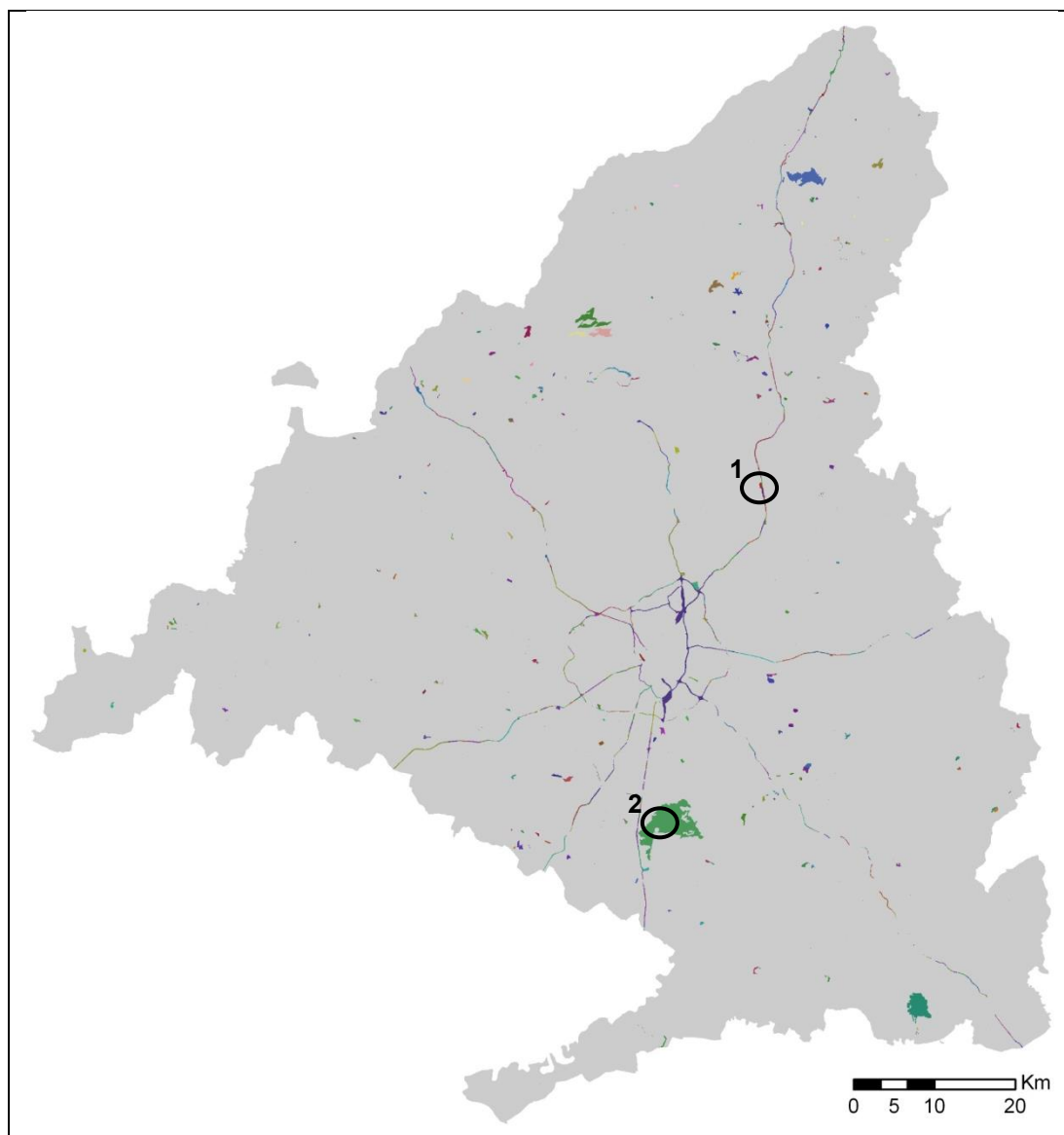


Figura 5-62. Localización de errores encontrados en CLC 06 nivel 3 y que fueron sometidos a un proceso de corrección. Formato ráster con un tamaño de píxel 50 m. Los números se corresponden con dos ejemplos que son representados con más detalle a continuación.

El ejemplo 2, mostrado también la figura 5-63, detalla una gran mancha de cambio de uso del suelo que se producía al cruzar tanto el CLC 90 como el CLC 00 con el CLC 06. Dado su gran tamaño se decidió examinar con más detalle dicha mancha, observándose que estaba asignada como prados y praderas (231) en el caso de CLC 06 y como mosaico de cultivos (242) en el caso de CLC 90 y CLC 00. Superponiendo la mancha con la imagen del SIGPAC se consideró reasignarla a la categoría 242, tal y como aparecía en los años anteriores.

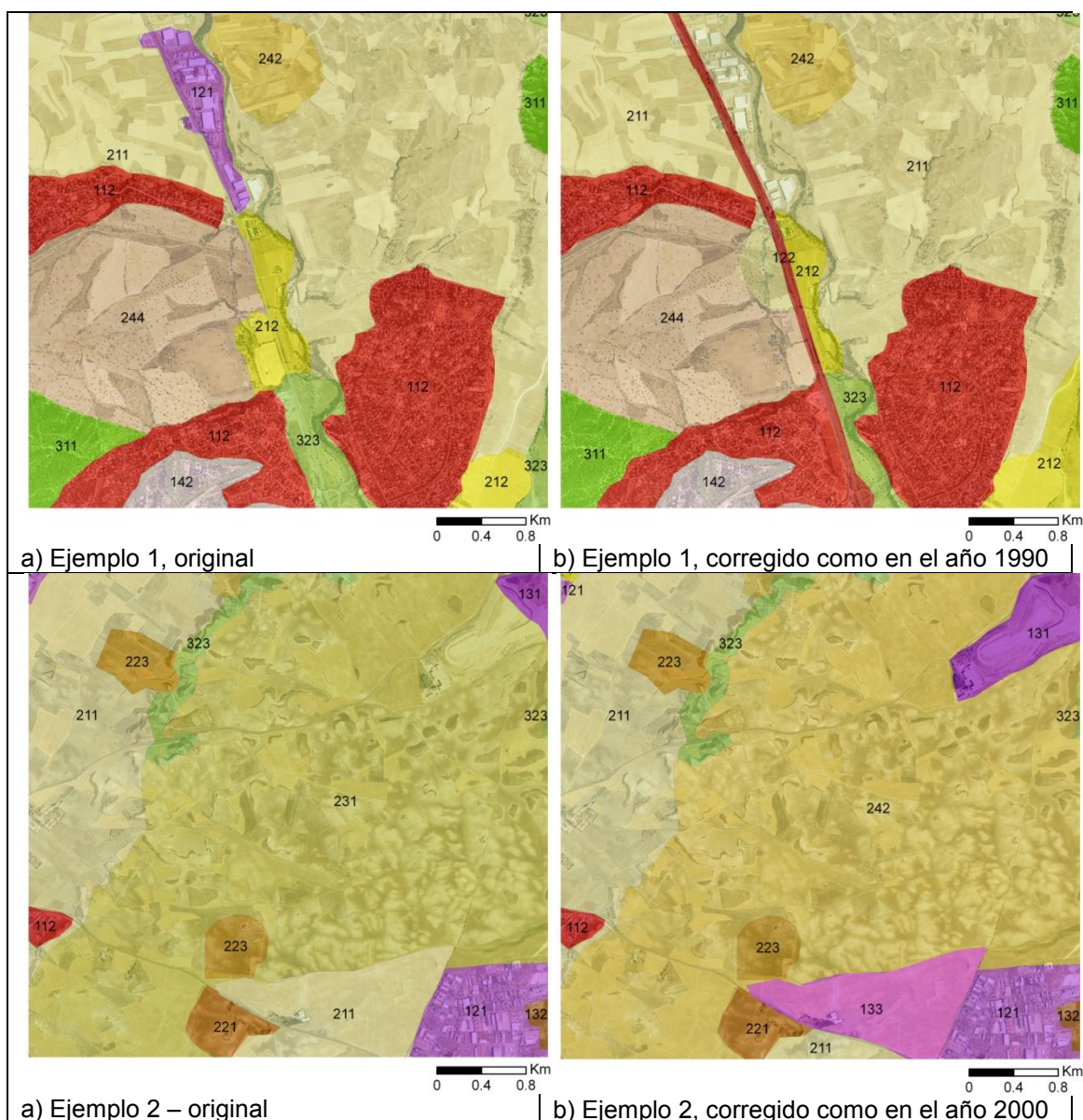


Figura 5-63. Ejemplos de correcciones efectuadas en CLC 06, a nivel 3 de CLC.

5.4 CONCLUSIONES

La región de Madrid ha experimentado numerosos cambios desde mediados de los años 80, localizados por todo su territorio de forma intensa y asociados, en los últimos decenios, a la malla de carreteras. Se ha dado un crecimiento de forma muy artificial, desvinculado de la evolución demográfica.

Gran parte de los sistemas agrarios han sido destruidos por la expansión de áreas artificiales, produciéndose también una transformación de cultivos en eriales improductivos, en espera de ser reconvertidos a usos urbanos.

Entre los años 80 y 90 del siglo pasado el sector primario vive un proceso lánguido en el que su actividad decrece, manifestado por la pérdida de

superficie de las tierras de labor y de zonas agrícolas heterogéneas, repartida por la totalidad del territorio madrileño. La explosión del tejido urbano, industrial y comercial y de transporte se muestra tímida pero incipiente en torno a la ciudad de Madrid; este tenue aumento del uso artificial se manifiesta también en la ubicación de segundas viviendas en la primera línea de la Sierra, al noroeste de la región.

Las tierras de labor y otros usos agrícolas viven una decadencia evidente entre 1990 y 2000, pérdidas que se encuentran salpimentadas por toda la geografía de la CM. Esto pone de manifiesto la pérdida de actividades agrícolas, que fueron importantes para la región en décadas pasadas. Los espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea son los que experimentan mayores cambios, con grandes pérdidas, al ser sustituidos por usos artificiales, pero también con grandes ganancias al ocupar antiguos usos agrarios. Se observa, además, una explosión urbana en torno a la metrópoli madrileña y en torno a la Sierra, esta última relacionada al fenómeno de la segunda vivienda de uso residencial. Vinculado a este fuerte crecimiento urbanístico está el crecimiento económico de la región experimentado durante dicho periodo; también es importante señalar la llegada de inmigrantes que dinamizan el crecimiento demográfico y suman su mano de obra al desarrollo de la CM. Paulatinamente se asiste a una pérdida evidente de terreno para usos agrarios, especialmente, alrededor de las dos primeras coronas metropolitanas.

Entrado el siglo XXI se asiste a la eclosión de la urbanización que, junto al periodo anterior, vive una explosión sin parangón en el tiempo y en el espacio de la historia de la provincia. La promoción inmobiliaria crece en torno a los nuevos viales de comunicación y a los centros comerciales y de ocio que inundan el paisaje, especialmente en el sur de la metrópoli, dando cobertura a la población de dichas localidades. Entre los años 2000 y 2006 destaca, además de la construcción de viales de comunicación, la ampliación del aeropuerto de Barajas.

Destacable es el desarrollo industrial y la evolución demográfica vivida durante estas casi tres décadas por los municipios del sur de Madrid (Móstoles, Alcorcón, Fuenlabrada, Leganés y Getafe) que viven en estos años la llegada de mano de obra para trabajar en el sector secundario y en los servicios, sintomático también de la pérdida de tierras de labor, zonas agrícolas heterogéneas y, en menor medida, de matorrales y pastizales en estas localidades.

Destacar, también, la proliferación de viviendas de tipología dispersa en el noroeste de la región, vinculadas a segundas viviendas y a un deseo por parte de la población madrileña de estar en contacto con la naturaleza.

Tal y como comentan Serrano Cambroner et al. (2006), se han multiplicado por el territorio nuevas actuaciones, tanto al norte como al sur de la metrópoli,

con una morfología muy similar: de plano ortogonal atravesadas por una o varias grandes avenidas con bulevares ajardinados, edificaciones con manzana cerrada dedicadas a residencia plurifamiliar y con equipamientos exclusivos para los vecinos de la propia edificación. Otra morfología muy extendida es la de las grandes superficies comerciales, donde se incluyen supermercados, grandes almacenes, pequeños comercios y actividades de hostelería y ocio.

Las infraestructuras de transporte han experimentado un crecimiento importante, no sólo con la construcción de nuevos viales de carreteras, como han sido las autovías de circunvalación (M-45, M-50) o las radiales (R-2, R-3, R-4, R-5), sino también con la enorme ampliación del aeropuerto de Barajas, el cual conlleva no solo la construcción del mismo, sino también un crecimiento urbano en su área de influencia asociado a la actividad aeroportuaria y a la logística.

El acelerado crecimiento urbano, aparejado a una fuerte caída de la producción agrícola, ha ocasionado que grandes áreas agrícolas, especialmente de secano, hayan sido abandonadas o convertidas a usos artificiales (Gallardo y Martínez-Vega, 2010; Hewitt y Hernández-Jiménez, 2010). Las pérdidas de tierras agrícolas se han dado también en áreas tradicionalmente vinculadas al sector primario, como pueden ser Aranjuez, Chinchón, Ciempozuelos o Cenicientos. Hoy en día, existe una voluntad del sector agropecuario por primar sus fortalezas, creando Denominaciones de Origen (D.O) tales como la D.O Vinos de Madrid o D.O. Carne Sierra de Guadarrama, en relación con un desarrollo rural basado en la calidad.

En cuanto a los usos forestales, en especial los bosques, éstos parecen mostrar una estabilidad durante todos estos años en cuanto al total de superficie que representan, sin embargo, han presentado altas tasas de intercambio lo que demuestra que es un uso del suelo que ha tenido una alta actividad de cambio.

Los intereses políticos no han estado ajustados con los intereses de la población. Muchas de las infraestructuras viarias, como pueden ser los anillos periféricos como la M-45 o el metro ligero, no han estado asociadas a alcanzar estándares de movilidad y se han debido a intereses especulativos con el objetivo de construir nuevos parques residenciales o empresariales atractivos por la buena accesibilidad que las propias carreteras facilitan. El crecimiento urbano llega así a agotar los espacios intermedios disponibles entre las diferentes carreteras orbitales.

Los nuevos desarrollos consumen además una gran cantidad de suelo y suponen un aumento en la longitud de los viajes, donde el modo de transporte dominante es el automóvil (García Palomares y Gutiérrez Puebla, 2007).

Se ha construido no para habitar, ni siquiera para alquilar, sino para vender y realizar plusvalías derivadas de convertir suelo rústico en metros cuadrados construidos (Naredo y García Zaldivar, 2008). Se ha producido un consumo abusivo y desordenado de suelo hasta límites que no admiten parangón con ningún otro país de la Unión Europea (Romero, 2010).

El crecimiento de las superficies artificiales no ha venido de la mano de una planificación con unos criterios mínimos de sostenibilidad, por lo que, hoy día, se pueden constatar importantes impactos territoriales y paisajísticos en toda la región (Plata Rocha et al., 2010). Tal y como señala Méndez (2013), los costes ambientales derivados de ese modelo urbanizador han quedado reflejados en el masivo consumo de suelo, agua y energía. El crecimiento se ha hecho ignorando la sostenibilidad social y ambiental a medio o largo plazo de la CM. Se ha producido una pérdida irreparable de patrimonio territorial y una degradación de referentes paisajísticos y culturales. Se ha producido una saturación y artificialización de muchos espacios y una pérdida de calidad territorial que hipoteca seriamente el futuro (Romero, 2010; Burriel, 2011).

CAPÍTULO 6. SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE USOS DEL SUELO A FUTURO EN LA COMUNIDAD DE MADRID.

- 6.1 Introducción
- 6.2 Metodología
- 6.3 Resultados
- 6.4 Implicaciones
- 6.5 Conclusiones

6.1 INTRODUCCIÓN

Los diferentes modelos de simulaciones de usos del suelo desarrollados responden, en esencia, al esquema metodológico que presentan Pérez Campaña et al. (2004).

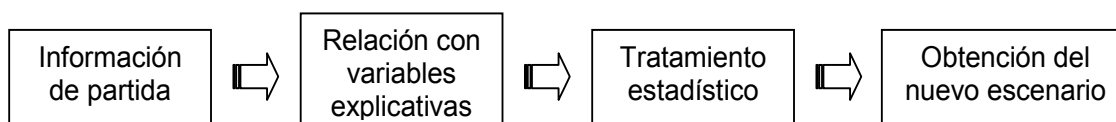


Figura 6-1. Esquema metodológico para la creación de escenarios. Fuente: Pérez Campaña et al. (2004).

La información de partida necesaria a la hora de realizar este tipo de estudios es el condicionante principal, de cuya calidad dependerá, en gran medida, el éxito o la adecuación del modelo. En el caso de los modelos espaciales de simulación de usos del suelo, esta información de partida consistirá de uno o más mapas de usos del suelo, de una o más fechas diferentes en el tiempo. Es importante disponer de un dato de una fecha reciente, ya que los usos del suelo actuales juegan un papel clave en la localización de los usos del suelo en el futuro próximo; esto se debe a que la probabilidad de que un cambio de uso del suelo ocurra en una localización determinada depende de la existencia previa de ese uso del suelo.

Factores abióticos, climáticos, culturales, sociales, demográficos, económicos, de accesibilidad, políticos, etc. influyen la localización de los usos del suelo, así como la probabilidad de cambio que éstos pueden experimentar. Es por ello que los componentes del sistema y sus interrelaciones tienen que ser identificados. Así, mediante los datos de entrada y el tratamiento estadístico de los factores explicativos que se introducen en el modelo, éste será capaz de generar un escenario futuro de usos del suelo, que deberá ser calibrado y validado posteriormente.

En el segundo apartado de este capítulo se muestra la metodología utilizada a la hora de elaborar los escenarios de futuro que se han realizado en la Comunidad de Madrid (CM). Posteriormente, se muestran los resultados obtenidos. Para terminar, se detallan las conclusiones generales del capítulo.

En la realización de los escenarios, se trabaja con una clasificación de usos del suelo más genérica que la utilizada para los análisis de cambios de usos del suelo; ésta comprende 7 categorías diferentes. Esto es debido a la dificultad de representar las dinámicas de una gran variedad categórica de usos del suelo como la trabajada anteriormente, es decir, los correspondientes al nivel 2 (13 categorías) y al nivel 3 (30 categorías) de CORINE Land Cover (CLC). Estas 7 categorías fueron reclasificadas a partir del CLC nivel 3.

La información de partida con la que se cuenta son los mapas de usos del suelo de 1990, 2000 y 2006. No se ha tenido en cuenta el año 1982, ya que se ha preferido trabajar con los tres años más recientes en el tiempo, debido a la dificultad para recopilar datos e, incluso, a la carencia de información para dicho año. Asimismo, los resultados obtenidos en los análisis de inestabilidad temporal, desarrollados en el capítulo 5, demuestran que, el periodo que comprende los años 1990, 2000 y 2006, puede considerarse más o menos estable en cuanto al cambio anual experimentado, mientras que si se añade el dato del año 1982, los cambios anuales pasan a ser inestables para todo el conjunto temporal.

Las simulaciones a futuro se han elaborado para el año 2025 bajo tres escenarios diferentes: a) un escenario de trayectoria lineal; b) un escenario de recesión económica; y c) un escenario verde.

Para llevar a cabo estas tres simulaciones a futuro se ha hecho uso del software CLUE. Asimismo, se ha utilizado el Land Change Modeler (LCM) de IDRISI para la elaboración de un escenario de trayectoria lineal, con el objetivo de comparar los dos software: sus semejanzas, diferencias y los resultados que cada uno de ellos proporciona. Ambos son modelos funcionales y espacialmente explícitos.

El objetivo de este capítulo es, por tanto, mostrar los posibles cambios de usos del suelo que pueden darse en el futuro próximo dependiendo de diferentes trayectorias que puede seguir la región. No se trata de prever el futuro, ya que esto, en sentido estricto, se considera imposible; tampoco se trata de mostrar las localizaciones más óptimas para cada una de las categorías utilizadas. Se trata, pues, de una descripción de una situación hipotética de futuro con el fin de conocer o aproximarse lo más posible a la realidad futura.

Los resultados obtenidos pueden ser de interés y utilidad en el proceso de orientación y toma de decisiones de los diferentes gestores y actores responsables de la planificación del territorio y pueden servir como un instrumento para realizar una ordenación territorial más sostenible de la región.

6.2 METODOLOGÍA

6.2.1 Definición de los modelos empleados

La elección del modelo viene dada por el objetivo del estudio así como por la disponibilidad de datos. Se ha trabajado con dos modelos espacialmente explícitos y dinámicos: CLUE y LCM de IDRISI. Ambos modelos permiten trabajar con varias categorías de usos del suelo.

El primero trabaja en formato ASCII, mientras que el segundo trabaja en formato ráster. CLUE permite trabajar con uno o varios datos temporales (en este trabajo han sido utilizados los datos de tres años, 1990, 2000 y 2006), mientras que LCM solo permite trabajar con dos fechas (se ha utilizado aquí la información de los años 1990 y 2006).

Ambos modelos necesitan de información adicional, la cual estará definida según los objetivos que se desean conseguir y las características de la zona de estudio. Información relevante que debería ser recogida es la relacionada con los factores explicativos de la localización de los usos del suelo (por ejemplo, un modelo digital del terreno, datos litológicos, datos de accesibilidad) o la relacionada con restricciones de ciertos usos (como pueden ser las áreas protegidas).

Del resultado derivado de la relación entre los usos del suelo y los factores explicativos, se obtendrán diferentes mapas de idoneidad o de probabilidad de localización o de cambio de cada uno de los usos del suelo o de cada transición. Estos mapas de idoneidad se integrarán con otra información, como pueden ser las restricciones mencionadas y/o los incentivos locacionales, donde se detallan qué áreas tienen más preferencia a localizar un determinado uso del suelo o una determinada transición.

Se presenta, a continuación, un resumen de los modelos empleados. Si se desea más información puede consultarse el Anexo 4.

6.2.1.1 CLUE

El modelo de cambios de usos del suelo CLUE (*Conversion of Land Use and its Effects modelling framework*) fue desarrollado para simular los cambios de usos del suelo mediante relaciones empíricamente cuantificadas entre los usos del suelo y sus factores explicativos, en combinación con un modelo dinámico de competición entre los diferentes usos del suelo con los que se trabaja. Es un modelo dinámico, espacialmente explícito y multi-escalar. Se trata, además, de un software libre.

En este estudio se ha hecho uso de la versión Dyna-CLUE 2.0, desarrollada por Peter Verburg, del Institute for Environmental Studies, perteneciente a la VU University de Amsterdam, Holanda.

El modelo está dividido en dos módulos diferentes: un módulo de demandas no espaciales y un módulo de procedimientos de asignación espacialmente explícito. El primero calcula la superficie de cambio de cada uno los usos del suelo que se desean modelar; se pueden especificar aquí diferentes tipos de modelos, desde simples extrapolaciones de tendencias hasta modelos más complejos. El módulo de asignación está basado en una combinación de análisis empíricos y espaciales y modelados dinámicos; está dividido en diferentes sub-módulos (políticas espaciales y restricciones; lugares de preferencia específica; elasticidades de conversión; y factores explicativos) que, conjuntamente, crean una serie de condiciones y posibilidades para las cuales el modelo calcula la mejor solución mediante un procedimiento iterativo (Figura 6-2).

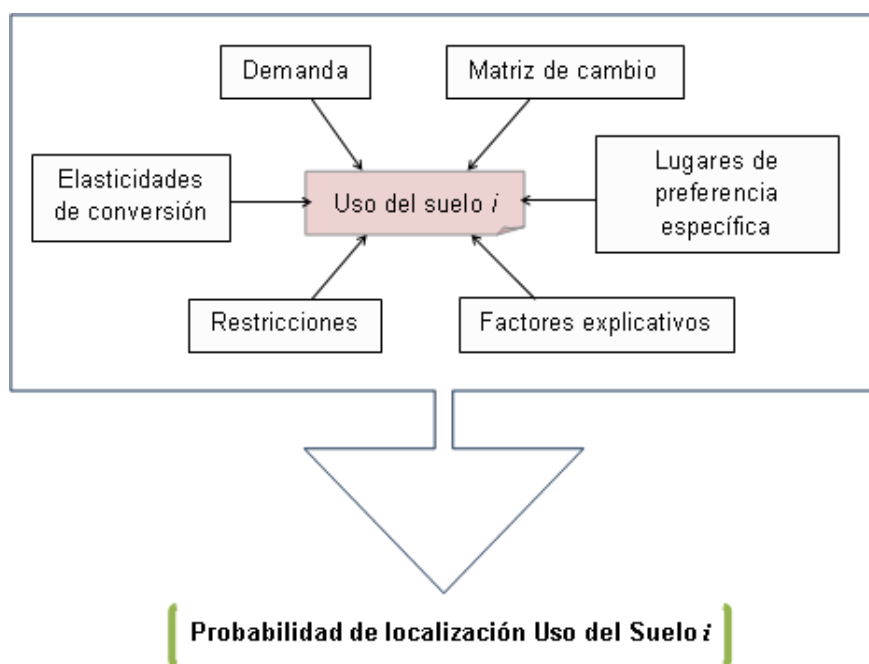


Figura 6-2. Descripción general del funcionamiento del modelo CLUE.

El modelo puede correr únicamente con un mapa de uso del suelo pero se recomienda tener, al menos, dos mapas de usos del suelo de diferentes años, los cuales tienen que tener una leyenda temática coincidente, la misma resolución espacial y el mismo formato.

Los cambios de usos del suelo se producirán en los lugares donde haya una mayor preferencia para ese tipo de uso en un momento dado. La preferencia de una localización está empíricamente estimada mediante una serie de factores explicativos, los cuales determinan los cambios de usos del suelo. Para conocer cómo influyen los factores explicativos en cada uno de los usos

del suelo con los que se trabaja, pueden utilizarse diferentes técnicas estadísticas, como pueden ser análisis de regresión logística.

Debe señalarse también qué transiciones son posibles entre diferentes usos del suelo. Esto debe definirse en una matriz de cambio, en la que se señala si el cambio es posible o no y dónde puede darse.

Las demandas de usos del suelo son calculadas como parte específica de cada escenario que se desea realizar. Estas demandas limitan la simulación definiendo el total de cambio de cada uso del suelo que se producirá. El cálculo de estas demandas está basado en una serie de métodos, dependiendo del caso de estudio y del escenario a realizar. La técnica más común es la extrapolación de tendencias de cambios de usos del suelo en el pasado, utilizando dichas tendencias para simular a futuro.

Otro elemento que posee CLUE son las elasticidades de conversión; éstas están relacionadas con la reversibilidad del cambio del uso del suelo. Existen usos del suelo que son fácilmente convertibles, por ejemplo las tierras agrícolas frecuentemente se convierten en urbanas debido al propio desarrollo urbano; por el contrario, es muy difícil que los usos urbanos cambien a otro tipo de uso del suelo. Estas diferencias de comportamiento pueden ser registradas mediante las elasticidades de conversión.

Además, posee otras opciones optativas como, por ejemplo, la utilización de factores de vecindad.

En resumen, los parámetros que se necesitan antes de realizar la simulación son: a) requerimientos de usos del suelo o demandas, puede haber tantas demandas como diferentes escenarios que se quieran llevar a cabo; b) políticas de ordenación o restricciones de localización o de cambio para todos los usos del suelo o para cada uno en particular; c) elasticidades de conversión para cada uno de los usos del suelo; y d) matriz de transición, indicando hacia qué otros usos del suelo puede transicionar cada categoría.

6.2.1.2 LCM de IDRISI

El módulo LCM (*Land Change Modeler*) es una aplicación que se incluye a partir de la versión Andes del software comercial IDRISI.

Para poder llevar a cabo el modelado a futuro es fundamental realizar previamente, en dicho modelo, dos pasos: el análisis de cambios de usos del suelo pasados y el modelado de los procesos de cambio.

En el modelado de los procesos de cambio se incluye una herramienta que permite explorar el poder de las variables explicativas de cambio para cada

transición que se desea modelar. Las transiciones, que pueden ser definidas como el cambio de un uso del suelo específico a otro uso del suelo específico o como el cambio de un conjunto de usos del suelo hacia otro conjunto de usos del suelo, pueden ser modeladas usando tres métodos de forma independiente: a) regresión logística; b) *multi-layer perceptron neural network* (MLP); y c) *SimWeight*³¹. El resultado de esta herramienta son diferentes capas de información que expresan los potenciales de cada transición.

En este sentido, la principal diferencia con CLUE es que LCM relaciona las variables explicativas con los cambios de usos del suelo, mientras que CLUE las relaciona con la localización de cada uso.

La cantidad de cambio es modelada mediante un análisis de cadenas de Markov, que muestra la probabilidad de cada categoría de uso del suelo de cambiar a cualquier otra categoría según lo observado en el pasado.

Se puede añadir al modelo información opcional, como son los mapas de futuras infraestructuras o mapas de zonificación o incentivos, tal y como muestra la figura 6-3.

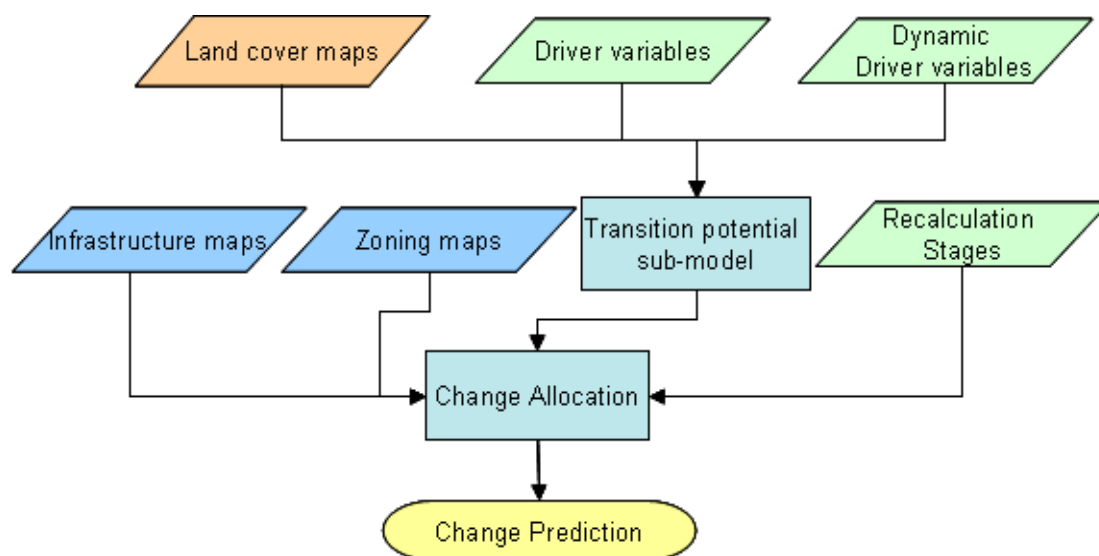


Figura 6-3. Descripción general del proceso de predicción del cambio de usos del suelo en LCM. Fuente: Manual de ayuda del programa, versión Taiga.

Como resultado puede obtenerse un modelo de predicción dura (*hard prediction*) y/o un modelo de predicción suave (*soft prediction*); la predicción dura produce un mapa de usos del suelo para la fecha futura dada, basada en un modelo multi-objetivo de autómatas celulares de competencia de tierra, mientras que la predicción suave provee una estimación completa de los potenciales de cambio y puede ser considerado como un mapa de vulnerabilidad.

³¹ Si se desea más información sobre SimWeight puede consultarse el trabajo de Sangermano et al. (2010)

6.2.2 Diseño e implementación de los modelos

6.2.2.1 Definición de las categorías de usos del suelo

Como se ha comentado previamente, para la realización de los escenarios se trabaja con una clasificación de usos del suelo más genérica que la utilizada en el capítulo 5. Esto se debe a la dificultad de modelar una amplia variedad de usos del suelo, como son las 13 categorías de usos del suelo a nivel 2 de CLC o, más aun, las 30 categorías a nivel 3 de CLC.

Tal y como se muestra en la tabla 6-1, la reclasificación en 7 usos del suelo se ha llevado a cabo a partir de la clasificación de CLC a nivel 3, agrupando las categorías intentando seguir la lógica de CLC, resultando, por ello, en una clasificación intermedia entre el nivel 1 y el nivel 2 de CLC.

La categoría “Otros” engloba usos del suelo que se consideran estáticos en el periodo analizado, es decir, que no han cambiado en el tiempo. Los roquedos, humedales, cursos y láminas de agua han permanecido estables en el pasado, por lo que se siguen considerando como tal. En cuanto a las redes de transporte y terrenos asociados, así como los aeropuertos, se han considerado dentro de dicha categoría por su dificultad a la hora de simular dichos crecimientos, ya que responden, básicamente, a políticas gubernamentales.

En la tabla 6-1 se señala en rojo las categorías que se han agrupado de forma diferente a la lógica de la leyenda jerárquica de CLC:

Así, la categoría clasificada como “en construcción” (133) en CLC nivel 3, no ha sido agregada a las zonas de extracción minera, escombreras y vertederos, y se ha considerado dentro de zonas urbanas. Observando la trayectoria que ha tenido esta categoría en los años de estudio pasados, la mayor parte ha cambiado a ser zonas urbanas y, en algunos casos, menos numerosos, ha pasado a ser también zonas industriales o comerciales. Se decidió, por tanto, agregar este uso a la categoría de Urbano.

Las zonas verdes urbanas (141), como su nombre indica, se han considerado dentro de la trama urbana, ya que se corresponden con parques y jardines urbanos. Así, fueron clasificadas como Urbano. De igual manera, las instalaciones deportivas y recreativas (142), han sido consideradas también como zonas urbanas, ya que éstas están dentro de la trama urbana y su morfología es similar a los usos que la integran.

Las zonas de extracción minera (131) y escombreras y vertederos (132), se consideraron como actividad industrial, por lo que fueron incluidas como zonas industriales.

Código CLC nivel 3	Categorías CLC nivel 3	Categorías para los escenarios
111 112 133 141 142	Tejido urbano continuo Tejido urbano discontinuo Zonas en construcción Zonas verdes urbanas Instalaciones deportivas y recreativas	Urbano
121 131 132	Zonas industriales o comerciales Zonas de extracción minera Escombreras y vertederos	Industrial y comercial
211 212 221 222 223 242	Tierras de labor de secano Terrenos regados permanentemente Viñedos Frutales Olivares Mosaico de cultivos	Tierras de labor
243 244 231	Terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural y semi-natural Sistemas agroforestales Prados y praderas	Agricultura heterogénea
311 312 313	Bosques de frondosas Bosques de coníferas Bosques mixtos	Bosques
321 323 324 333	Pastizales naturales Matorrales esclerófilos Matorral boscoso de transición Espacios con vegetación escasa	Matorral y pastizal
122 124 332 411 511 512	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados Aeropuertos Roquedo Humedales y zonas pantanosas Cursos de agua Láminas de agua	Otros (sin cambio)

Tabla 6-1. Reclasificación realizada a 7 usos del suelo diferentes para la elaboración de los escenarios, a partir de las categorías presentes a nivel 3 de CLC.

Los mosaicos de cultivos (242), pertenecientes a las zonas agrícolas heterogéneas a nivel 2 de CLC, se han considerado aquí dentro de las tierras de labor. Se ha pretendido, con ello, diferenciarla de la categoría Agricultura heterogénea, la cual ha sido considerada, en esta clasificación, como tierras agrícolas en las que existe vegetación natural. Los mosaicos están definidos en la nomenclatura de la CLC como *“yuxtaposición de pequeñas parcelas de cultivos anuales, pastos de ciudad jardín y/o cultivos permanentes eventualmente con casas o huertos dispersos”*. La misma lógica se ha seguido para las categorías pertenecientes a los cultivos permanentes, es decir, viñedos (221), frutales (222) y olivares (223).

En contraposición, los prados y praderas (231) han sido considerados como zonas agrícolas heterogéneas, ya que son tierras para ganado en las que se

incluyen, según la nomenclatura de CLC, *“prados donde los matorrales o árboles dispersos ocupan hasta un 50% de la superficie”*.

Por último, los espacios con vegetación escasa (333), al haber experimentado cambios en el pasado, aunque no muy numerosos, han sido agregados a los matorrales y pastizales, ya que son áreas *“con vegetación dispersa compuesta por gramíneas y/o especies leñosas o semi-leñosas en altas latitudes o en fuertes pendientes”*.

Los mapas de usos del suelo obtenidos de dicha reclasificación y que han sido, por tanto, utilizados para elaborar los escenarios, pueden consultarse en el anexo 8.

6.2.2.2 Variables explicativas de los usos del suelo

En este apartado se detalla la selección realizada de las variables explicativas y el tratamiento que ha sido realizado con el fin de evaluar la influencia de dichas variables en la localización (CLUE) o en los cambios (LCM) de usos del suelo.

Se trata de definir qué factores físicos y humanos son los que determinan los patrones de usos del suelo en la CM, mediante una serie de análisis estadísticos.

Las variables han sido analizadas mediante regresiones logísticas (LR), en el caso de los modelos a realizar con CLUE, y *multi-layer perceptron neural network* (MLP), en el caso del modelo a realizar con LCM.

La variable dependiente la componen los diferentes usos del suelo, analizados separadamente, como una variable binaria de presencia o ausencia, tanto en CLUE como en LCM. Las variables independientes seleccionadas están detalladas en la tabla 6-2.

La selección de los factores que determinan estos cambios supone una tarea ardua, ya que son multitud de datos y variables las que pueden ser tenidas en cuenta, muchas de las cuales pueden no estar disponibles o pueden estar a una escala espacial y/o temporal inadecuada. Hay que tener en cuenta, también, que no todos los procesos que generan cambios de usos del suelo pueden ser modelados (Alcamo et al., 2006) y que éstos varían dependiendo de la escala espacial. Veldkamp y Lambin (2001) comentan, por ejemplo, que a escala local, las variables que más influyen el uso del suelo son de tipo social y de accesibilidad; a escala de paisaje, el determinante es la topografía; mientras que a nivel nacional o regional, las variables climáticas, así como los factores macro-económicos y demográficos parecen ser los factores clave.

Los efectos del cambio climático pueden tener un gran impacto en la localización de ciertos usos, especialmente agrícolas y forestales. Sin embargo, este factor no se ha tenido en cuenta, ya que los escenarios se simulan al año 2025 y se ha considerado que las variables que influyen en el cambio climático se mantendrán prácticamente estables hasta dicho año.

Nombre de la variable	Descripción	Tipo
Categorías de usos del suelo. <ul style="list-style-type: none"> - Urbano - Industrial y comercial - Tierras de labor - Agricultura heterogénea - Bosque - Matorral y pastizal - Otro 	Reclasificación realizada a partir de CLC, nivel 3	Binaria
Socio-económicas o de distancia <ul style="list-style-type: none"> - Distancia a la ciudad - Distancia a otras ciudades y al aeropuerto - Distancia a carreteras - Distancia a vías férreas - Accesibilidad a la ciudad - Accesibilidad a otras ciudades y al aeropuerto - Accesibilidad a carreteras 	Distancia a la ciudad de Madrid Distancia a otras ciudades y al aeropuerto de Barajas Distancia a carreteras Distancia a la red de ferrocarril Tiempo de acceso a la ciudad de Madrid Tiempo de acceso a otras ciudades y al aeropuerto de Barajas Tiempo de acceso a las carreteras.	Continua
Biofísicas <ul style="list-style-type: none"> - Altitud - Pendiente - Distancia a ríos - Distancia a embalses - Litología 	Altitud Pendiente en % Distancia a los principales ríos Distancia a los embalses Litología	Continua Binaria

Tabla 6-2. Variables explicativas utilizadas en la modelización de los escenarios a futuro.

El crecimiento de la población no ha sido considerado tampoco en los modelos futuros, debido a la falta de la información detallada necesaria para generar proyecciones de futuro de esta variable a la escala espacial requerida. El Instituto Nacional de Estadística (INE) realiza una proyección de la población para la CM donde presenta el dato del total de población que habrá en el año 2022³²; la proyección, sin embargo, no alcanza hasta el año 2025 y se muestra únicamente a nivel de CC.AA; sería, por tanto, necesario un mayor detalle espacial. El mismo organismo elabora también una proyección a largo plazo hasta el año 2025³³, pero solo a nivel nacional.

³² Cifras de población y censos demográficos. Proyecciones de población a corto plazo. Último dato publicado a 19 de noviembre de 2012.

³³ Cifras de población y censos demográficos. Proyecciones de población a largo plazo. Último dato publicado a 19 de noviembre de 2012).

Por otra parte, las relaciones teóricas encontradas en este estudio entre la densidad de población y el crecimiento urbano son confusas, ya que, como se ha visto, la expansión de suelo artificial en la región no ha ido de la mano de la dinámica demográfica; por ejemplo, García Palomares y Gutiérrez Puebla (2007) comentan que el incremento de población no puede explicar por sí solo el elevado crecimiento del parque de viviendas que se ha producido en la CM y que existen otros factores tales como la reducción del tamaño de los hogares o la evolución de la segunda residencia, variables difíciles de proyectar espacialmente. Por otra parte, autores como Lambin et al. (2001) comentan que la población por sí sola no constituye una de las causas de cambio de usos del suelo; Schneider y Woodcock (2008) observan que la conversión de suelo urbano puede no estar correlacionada directamente con los cambios poblacionales. Dentro de las variables demográficas, Kristensen et al. (2001) asumen que la variable estructura por edad está relacionada con los cambios de usos del suelo; sin embargo, Kroll y Haase (2010) comentan que no han obtenido ninguna relación entre la estructura por edad de la población y los cambios de usos del suelo, pero sí con la inmigración, aunque esta relación no se observa en todas las jurisdicciones que estudian. En este aspecto, Geist et al. (2006) y Reid et al. (2006) concluyen que los efectos del crecimiento de la población sobre los cambios de usos del suelo vienen manifestados normalmente por las migraciones, más que por la fertilidad o por la natalidad. Por último, Reid et al. (2006) comentan que el crecimiento de la población no es tan influyente como se pensó previamente, especialmente si ese crecimiento se produce en áreas urbanas, en vez de en áreas rurales; en su lugar, factores relacionados con las políticas juegan, habitualmente, un rol más importante; así, comentan que las políticas sectoriales y macroeconómicas, como pueden ser las políticas de precios para la agricultura, las inversiones en infraestructura, los programas de reforestación, etc. son causas importantes del cambio del uso del suelo.

La accesibilidad está considerada como uno de los factores más importantes que conduce a cambios de usos y cubiertas del suelo (Verburg et al., 2004b), especialmente en entornos urbanos. Las infraestructuras de transporte modifican la accesibilidad y la dinámica poblacional. Esta variable puede ser medida mediante mapas referidos a distancias a ciertos elementos de interés, pero también como mapas de coste de desplazamiento, introduciéndose así el factor tiempo; este último puede proporcionar una medida más realista ya que, hoy en día, la localización de ciertos usos e instalaciones depende más del tiempo que de la distancia. En este estudio, tal y como se ha detallado en la tabla 6-2, las medidas de accesibilidad se han considerado tanto en distancias como en costes de desplazamientos a diferentes elementos naturales y artificiales. Para la obtención del coste por desplazamiento, la red de transporte se ha considerado distinguiendo tres diferentes tipologías de carreteras: autopistas/autovías, carreteras nacionales y carreteras secundarias; los

núcleos de población se han considerado puntuales, sin superficie. Con la velocidad máxima específica de cada tramo se determinó la impedancia de la red, en segundos/metros, constituyendo así una superficie de fricción. La distancia fue calculada mediante la distancia en línea recta a los diferentes elementos, y el coste de desplazamiento fue calculado mediante el algoritmo *Cost weighted distance* de ArcGis, dependiendo de la velocidad a la que se puede ir por las diferentes vías (tabla 6-3).

Tipo de vía	Velocidad asignada (Km/h)	Impedancia (s/m)
Autopista/Autovía	120	0,030
Carretera Nacional	100	0,036
Carretera Secundaria	80	0,045

Tabla 6-3. Velocidades asignadas e impedancias para cada tipología de la red viaria.

Los ríos, embalses, carreteras y ferrocarriles escogidos a la hora de realizar el cálculo de distancias y de costes de desplazamiento fueron extraídos de la Base Cartográfica Nacional (BCN), a escala 1:200.000.

Otras variables que fueron seleccionadas en este estudio han sido la altitud y la pendiente. Ambas se consideran factores condicionantes en la localización de los usos del suelo con los que se trabaja. Fueron extraídas del modelo digital del terreno a 5 metros (MDT 05) del PNOA. Las pendientes se generaron en porcentajes.

La litología también fue considerada como un limitante o favorecedor, especialmente en los usos naturales y agrícolas. Ésta información fue extraída del mapa geológico de la Comunidad de Madrid, a escala 1:200.000.

Toda esta información fue convertida al formato estándar aquí utilizado, es decir, a la proyección ETRS89-LAEA, y rasterizada a un píxel de 50 metros.

La selección efectuada de variables proporciona resultados significativos; si bien, fuera de este listado quedan otras variables con importante influencia en la localización o en los procesos de cambio de los usos del suelo, como pueden ser variables socioeconómicas como empleados en los diferentes sectores económicos, demográficas, precio del suelo, nivel de renta, vías de transporte situadas en otras provincias, etc. Se ha querido hacer, sin embargo, un modelado sencillo, que pueda ser replicado o ampliado a otras áreas de estudio.

Como se ha mencionado previamente, este conjunto de variables ha sido evaluado mediante análisis de LR para el caso de los modelos realizados con CLUE y análisis de MLP en el modelo realizado con LCM, con el objetivo de valorar su grado de influencia. Previamente, se evaluó la multicolinealidad de las variables mediante una matriz de correlación de Pearson.

Mediante estos análisis se obtendrán mapas de probabilidad de localización de cada uso, en el caso de CLUE, y mapas de probabilidad de transición, en el caso de LCM.

6.2.2.2.1 CLUE y regresión logística

Un modelo de regresión logística describe la relación entre la ocurrencia de un uso del suelo y un número de variables explicativas que influyen en la localización de dicho uso del suelo. Se utilizó, por ello, la regresión logística para relacionar la localización de los usos del suelo con las variables biofísicas, socioeconómicas y de distancia, mencionadas en el apartado anterior, y para descubrir la influencia positiva o negativa de cada variable.

En el modelo de regresión logística, la probabilidad de cambio se define como:

$$\ln \frac{P}{1-P} = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_{12} + \beta_n x_n$$

donde p representa la probabilidad de cambio de que un píxel sea transformado a un uso diferente, α y β son los parámetros estimados y x son las variables explicativas contempladas.

La variable dependiente es binaria, toma dos valores: ausencia o presencia de un determinado uso del suelo. Existen, por tanto, seis variables dependientes correspondientes con los seis usos del suelo que se van a modelar (urbano, industrial y comercial, tierras agrícolas, agricultura heterogénea, bosque, y matorral y pastizal), donde el uso del suelo estudiado tiene valor 1 y el resto de usos del suelo tiene valor 0. La categoría “otros” no se considera en estos análisis, ya que ésta se considera como estable, sin cambios.

Para seleccionar las variables más significativas que entran dentro del modelo de regresión, se utilizó el procedimiento *forward stepwise regression*, con valores de probabilidad de 0,01 para entrar en el modelo y 0,02 para eliminar la variable. Se seleccionó una muestra del 10%, a partir de un conjunto de datos con 3.211.166 celdas en total, con el objetivo de reducir la autocorrelación espacial y que ésta no afecte a los resultados (Overmars et al., 2003; McDonald y Urban, 2006).

El método retuvo, para cada uso del suelo, entre 4 y 7 variables diferentes.

La bondad de ajuste del modelo de regresión logística se midió mediante el estadístico ROC (*Relative Operating Characteristic*). Los valores que pueden obtenerse de este estadístico oscilan entre 0 y 1, considerándose un valor por debajo de 0,5 como una nula influencia de las variables explicativas (Pontius y Schneider, 2001).

Las ecuaciones derivadas de este método se utilizaron como base del modelo de simulación de cambio de usos del suelo.

Estos procesos se han realizado utilizando el software SPSS, versión 19.

6.2.2.2.2 LCM y MLP

A diferencia de CLUE, donde las variables explicativas fueron utilizadas para determinar la probabilidad de localización de un uso del suelo en un área determinada, en el modelo realizado con LCM las variables explicativas se utilizaron para determinar su influencia sobre el cambio.

Para ello, se ha utilizado el sistema de redes neuronales basado en múltiples capas denominado *multi-layer perceptron neural network* (MLP). Este método estadístico está disponible en el software IDRISI (para este estudio se ha utilizado la versión Selva), dentro del apartado de modelado de procesos de cambios de uso del propio módulo de LCM.

Asimismo, se hizo uso también del método de LR, de tipo binomial, que posee el mismo software, si bien, se obtuvieron resultados más ajustados utilizando MLP, por lo que se muestran solo los resultados alcanzados con este método.

Como se detalló en el capítulo 3, apartado 3.2.3, una red neuronal artificial consiste en una red conectada de unidades de procesamiento que son modeladas según las propiedades más elementales de las neuronas del cerebro humano.

MLP, usando un algoritmo de aprendizaje de retro-propagación (BP), es uno de los modelos de redes neuronales más usados. Tal y como muestra la figura 6-4, éste consiste en una capa de entrada, una capa de salida y una o más capas ocultas; cada capa contiene nodos ocultos, los cuales son críticos en el funcionamiento del sistema, ya que permiten al modelo aprender y hacer uso de los resultados de las interacciones.

MLP requiere para entrenar y validar una selección de píxeles para cada transición que desea modelarse entre dos pares de datos, tanto píxeles de cambio como de persistencia. La selección de estos píxeles se realiza de manera aleatoria. MLP usa la mitad de la muestra para el entrenamiento y la otra mitad para el testeo.

MLP puede correrse con un modo de entrenamiento automático y dinámico. Los dos parámetros más críticos son el número de nodos en capas ocultas y la tasa de aprendizaje (*learning rate*), los cuales son ajustados, modificando las tasas de inicio y final del *learning rate* como parte de un procedimiento de aprendizaje dinámico, usando una muestra de los datos de entrenamiento.

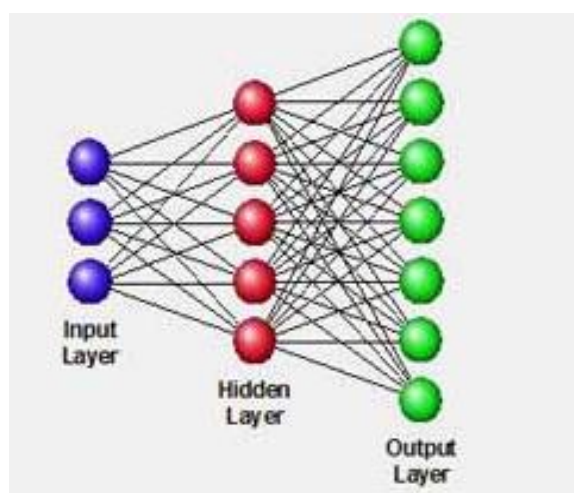


Figura 6-4. Comportamiento de *multi-layer perceptron neural network*. Fuente: Manual de IDRISI Selva, Eastman (2012).

MLP genera predicciones de pertenencia de una clase de uso del suelo para cada uno de los píxeles en cada iteración e informa de la exactitud (*accuracy rate*) y de la destreza (*skill measure*) del modelo. La medición de la destreza se establece como la medida de precisión obtenida menos la precisión esperada; ésta puede ser dividida entre la precisión del cambio y la precisión de la persistencia (algunas variables pueden ser más efectivas en predecir dónde no se producirá cambio que dónde se producirá).

Cuando se está modelando una única transición, un píxel puede cambiar o puede permanecer estable, por lo que existe un 50% de probabilidades de acertar. El *accuracy rate* es, por tanto, dependiente del número de transiciones y del número de clases existentes. Para compensar esta dependencia de la precisión esperada se hace uso del estadístico de destreza (*skill measure*), el cual es independiente de la prevalencia de la transición o de la persistencia y representa una medida real de exactitud del modelo; éste varía de -1 a 1, donde 0 significa que el modelo predice igual que si se realizase por azar, -1 que se está realizando peor que por azar y 1 indicaría una predicción perfecta.

En este trabajo, se ha hecho uso del modelo de entrenamiento automático y dinámico. De esta manera, si el proceso de testeo se reinicia automáticamente, se toman nuevas muestras, los pesos son reasignados de nuevo de manera aleatoria y el *learning rate* se reduce a la mitad.

Tanto las variables dependientes como las independientes se corresponden con las mismas que han sido utilizadas en los análisis de LR realizados con CLUE.

Cada transición se modeló por separado. El tamaño de muestreo máximo es de 10.000 píxeles, utilizándose el 50% para entrenamiento y 50% para testear. El número de muestras puede afectar a la precisión de los resultados de testeo, de manera que, si se tienen muy pocas muestras, éstas pueden no representar

a la población de la categoría y generar así, un sobreajuste; a su vez, demasiadas interacciones pueden causar también sobreajustes. Este problema puede ser detectado en un diagrama del modelador donde se muestran las curvas de testeo y de entrenamiento de errores de RMS³⁴.

El modelo se corrió hasta 30 ocasiones, eligiendo el mejor resultado obtenido; esto es, los mayores valores en el *accuracy rate* y *skill measure* y los valores más pequeños en los errores de RMS para cada transición.

El número de nodos utilizados para cada una de las transiciones es el siguiente: en la entrada, 17; ocultos, 6; y en la salida, 2.

6.2.2.3 Legislación

La legislación, en materia de ordenación del territorio u ordenación de los recursos naturales, juega también un papel fundamental en la localización y en los cambios de los usos del suelo, ya que ésta puede favorecer o restringir determinados usos en determinadas localizaciones. Así, el futuro de los usos del suelo está condicionado fuertemente no solo por los patrones actuales, sino también por políticas espaciales.

Las políticas locales o nacionales no son las únicas que influyen activamente sobre el territorio; políticas a escala de la UE tienen también sus implicaciones y pueden intervenir en un área determinada, con políticas tales como la Directiva Hábitat, la Política Agraria Comunitaria, Agendas-21, etc.

En este apartado se muestra la legislación que ha sido recogida para la elaboración de los mapas de restricciones de usos del suelo, así como para la elaboración de mapas de localizaciones favorecedoras o de incentivos de los diferentes usos del suelo. Esta información puede consultarse en la tabla 6-4.

Si se desea más información sobre el proceso seguido a la hora de realizar las diferentes restricciones extraídas de los documentos citados, puede consultarse el Anexo 5, donde se muestra, según que lo que explicita la normativa, qué usos han sido restringidos y cuáles han sido incentivados.

³⁴ *Root mean square error*. Medida estadística de las diferencias entre los valores predichos por un modelo y los valores observados.

Legislación	Nombre
Orden de 28 de mayo de 1987, con revisión Orden de 20 octubre 1995	Plan rector de uso y gestión del Parque regional de la Cuenca alta del Manzanares
Orden 14 de diciembre de 1992 (BOCM 14 enero 1993, Num.11)	Aprobación del Plan de Gestión del refugio de fauna de la Laguna de San Juan y su entorno
Decreto 26/1999, de 11 de febrero (BOCM 1 de marzo 1999, modificado por Decreto 124/2002, de 5 de julio, BOCM 5 agosto 2002)	Aprobación del Plan de ordenación de los recursos naturales para el Curso medio del río Guadarrama y su entorno
Decreto 143/2002, de 1 de agosto (BOCM 16 agosto 2002)	Revisión del Plan de ordenación de los recursos naturales de El Regajal-Mar de Ontígola
Acuerdo 22 de mayo de 2003 (BOCM 9 junio 2003)	Aprobación de Plan rector de uso y gestión del Parque natural de la Cumbre, circo y lagunas de Peñalara
Documento sometido a Información Pública, octubre de 2008. Consejería de Medio ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio, Comunidad de Madrid. Decreto 96/2009, de 18 de noviembre (actualización del 19 de febrero de 2010)	Plan de ordenación de los recursos naturales de la Sierra del Guadarrama en el ámbito territorial de la Comunidad de Madrid
Decreto 9/2009, de 15 de febrero (BOCM 10 marzo 2009)	Aprobación del Plan rector de uso y gestión del Parque regional en torno a los Ejes de los cursos bajos de los ríos Manzanares y Jarama.
Decreto 36/2010, de 1 de julio (BOCM, 10 septiembre 2010)	Plan de Gestión del espacio protegido Red Natura 2000 Cuencas y Encinares de los ríos Alberche y Cofio
Decreto 46/1993, de 20 de mayo (revisión 118/2002, de 5 de julio)	Plan de ordenación del embalse de Pinilla
Decreto 85/1994, de 28 de julio (revisión 117/2002, de 5 de julio)	Plan de ordenación del embalse de Picadas
Decreto 47/1993, de 20 de mayo (revisión 121/2002, de 5 de julio)	Plan de ordenación del embalse de Valmayor
Decreto 18/1994, de 24 de febrero (revisión 113/2002, de 5 de julio)	Plan de ordenación del embalse de La Jarosa
Decreto 72/1994, de 7 de julio (revisión 115/2002, de 5 de julio)	Plan de ordenación del embalse de Navacerrada
Decreto 20/1994, de 24 de febrero (revisión 119/2002, de 5 de julio)	Plan de ordenación del embalse de Puentes Viejas
Decreto 45/1993, de 20 de mayo (revisión 111/2002, de 5 de julio)	Plan de ordenación del embalse de El Atazar
Decreto 19/1994, de 24 de febrero (revisión 116/2002, de 5 de julio)	Plan de ordenación del embalse de Pedrezuela
Decreto 17/1994, de 24 de febrero (revisión 120/2002, de 5 de julio)	Plan de ordenación del embalse de Riosequillo
Decreto 15/1994, de 24 de febrero (revisión 112/2002, de 5 de julio)	Plan de ordenación del embalse de El Villar
Directiva 92/43/CEE del consejo, de 21 de mayo de 1992 Real Decreto 1997/1995, de 7 de diciembre	Conservación de la biodiversidad en la UE. LIC, ZEC y Red Natura 2000

Legislación	Nombre
(modificado por R.D. 1193/1998), de 12 de junio.	
Ley 42/2007, de 13 de diciembre (BOE 14 diciembre 2007)	Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.
Real Decreto 1/2001, de 20 de julio (BOE 24 julio 2001)	Ley de Aguas
Ley 7/1990, de 28 de junio (BOCM 11 julio 1990, modificada por Ley 2/2004, de 31 de mayo, BOCM 1 junio 2004)	Protección de embalses y zonas húmedas de la Comunidad Autónoma de Madrid.
Ley 43/2003, de 21 de noviembre (BOE 22 noviembre 2003, modificada por Ley 10/2006)	Montes
Ley 9/1995, de 28 de marzo (BOCM 11 abril 1995, con corrección de errores BOCM 28 junio 1995)	Medidas de política territorial, suelo y urbanismo
Ley 6/1998, de 13 de abril.	Régimen del suelo y valoraciones
Ley 9/2001, de 17 de julio (BOCM 27 julio 2001, con corrección errores BOCM 24 enero 2002)	Suelo de la Comunidad de Madrid
Ley 3/1991, de 7 de marzo (BOCM 23 abril 1991)	Carreteras de la Comunidad de Madrid
Decreto 29/1993, de 11 de marzo.	Reglamento de la Ley de Carreteras de la Comunidad de Madrid
Ley 39/2003, de 17 de noviembre (BOE 18 noviembre de 2003)	Sector ferroviario
Normas urbanísticas. BOCM 19 abril 1997. Versión marzo 2010	Plan general de ordenación urbana de Madrid, 1997.
Ley 16/1995, de 4 de mayo (BOCM 30 mayo 1995 y BOE 10 agosto 1995)	Forestal y de protección a la naturaleza. Plan forestal de la Comunidad de Madrid 2000-2019

Tabla 6-4. Legislación consultada para la elaboración de mapas de restricciones y mapas de incentivos para su utilización en los diferentes escenarios; consultados documentos actualizados (revisados y/o modificados). (*)El embalse de Los Arroyos y su plan de ordenación no han sido considerados debido a su escasa extensión.

6.2.2.4 Definición de los diferentes escenarios (*storylines*)

6.2.2.4.1 Escenario de trayectoria lineal

Mediante el estudio de la evolución que ha seguido la CM en el pasado, se realiza un escenario tendencial, de trayectoria lineal (también llamado comúnmente en la bibliografía “*business as usual*”) con el objetivo de mostrar qué pasaría si dicha tendencia se mantuviese hasta el año 2025. Se basa en la idea de que los cambios de uso del suelo que se han sucedido en el pasado están influidos por una serie de elementos y factores que seguirán influyendo en el futuro próximo del mismo modo y, por tanto, la región continuará experimentando la misma evolución.

Por ello, se ha estudiado la evolución pasada entre 1990, 2000 y 2006, utilizando la leyenda temática de 7 categorías.

Tal y como se ha descrito anteriormente, este escenario se ha realizado utilizando tanto el modelo CLUE como LCM, con el objetivo de comparar ambos resultados, así como su funcionamiento. LCM es utilizado solo en este escenario.

6.2.2.4.2 *Escenario de recesión económica.*

Teniendo en cuenta la situación de recesión económica que afrontamos hoy en día, puede presuponerse que el escenario comentado anteriormente ya no se producirá en el futuro próximo. En este caso, el objetivo es mostrar qué pasaría si la situación de crisis económica se mantuviese hasta el año 2025, en relación con los diferentes usos del suelo con los que se trabaja.

Para la elaboración de este escenario se ha realizado una serie de encuestas a expertos. Se crearon siete encuestas diferentes correspondientes con cada uno de los seis usos del suelo con los que se trabaja y que experimentan cambio, más una encuesta general que engloba todos los usos del suelo conjuntamente; dependiendo del bagaje de cada experto, se le consultó por uno o por varios usos del suelo, es decir, se le realizó una o varias encuestas. Las diferentes encuestas incluían un resumen del estado de la cuestión, con cifras y mapas de la evolución pasada de la CM de cada uno de los usos del suelo y se preguntaba en qué medida creían que iba a crecer, decrecer o mantenerse estable un uso del suelo determinado y dónde se podría dar dicho crecimiento o decrecimiento. Los diferentes modelos de encuesta pueden consultarse en el Anexo 6.

Los expertos de los que se obtuvieron respuestas favorables a la realización de la encuesta, la cual fue enviada por correo electrónico o se realizó personalmente, varían desde profesores universitarios de diferentes universidades y departamentos (Universidad Complutense de Madrid, profesores del grado de Geografía, de Biología, y de Económicas y Empresariales; Universidad Autónoma de Madrid, profesores del grado de Geografía; Universidad de Alcalá de Henares, profesores de Ciencias Ambientales y de Geografía; de la Universidad Politécnica de Madrid, profesores de Forestales; y de la Universidad Alfonso X El Sabio, profesor de Biología) a investigadores en organismos estatales (CSIC: investigadores del Centro de Ciencias Humanas y Sociales, del Centro de Ciencias Medioambientales, y del Real Jardín Botánico; del Observatorio de la Sostenibilidad en España; del Centro de Investigación Forestal del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria; y de la Oficina Española de Cambio Climático) o en Consejerías de la Comunidad de Madrid

(Subdirección General de Conservación del Medio Natural, Subdirección General de Planificación Regional, Centro Regional de Información Cartográfica y Área de desarrollo del Plan Forestal) y Ministerios (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente). Se intentó recabar información por parte de diferentes ONG, Asociaciones de ganaderos y agricultores y Grupos de Acción Local de la CM, pero no se obtuvo respuesta.

La tabla 6-5 muestra el número de encuestas recogidas.

Tipología de uso del suelo	Número de encuestas recogidas
Urbano	19
Industrial y comercial	12
Tierras de labor	20
Agricultura heterogénea	21
Bosque	23
Matorral y pastizal	22
Total	117

Tabla 6-5. Número de encuestas recogidas según la tipología de los usos del suelo a la que respondieron.

Las 117 respuestas obtenidas en la encuestas se trabajaron estadísticamente. Los usos del suelo industrial y comercial, y tierras de labor fueron los resultados donde se obtuvo mayor varianza. Se estudiaron los valores extremos mediante el estimador de Huber; éste mostró que dichos valores no eran tan graves como para eliminarlos. Se optó, pues, por la mediana, creyendo que ésta es una buena apuesta, ya que es resistente a los valores extremos.

Hay que tener en cuenta que el objetivo no es proyectar el futuro sino, en este caso, simular un escenario donde se han integrado las diversas visiones que tienen diferentes expertos para el año 2025.

6.2.2.4.3 *Escenario verde*

El objetivo de este escenario es ver qué pasaría si existen políticas de reforestación más activas y se le otorga más importancia al cuidado del medio ambiente y de los elementos naturales, pero teniendo en cuenta que la región de Madrid es una región urbana y, por tanto, los usos artificiales continuarán creciendo. No se trata de hacer un escenario hipotético, sino de hacer un escenario creíble y verosímil.

Es por ello que las cifras de crecimiento de Bosque y, en menor medida, de Matorral y pastizal, se han incrementado pero sin inflarse, intentando que el resultado sea realista. A su vez, el crecimiento urbano e industrial y comercial

no se estanca, sino que se produce un crecimiento intermedio entre el escenario de crisis y el escenario de trayectoria lineal.

6.2.2.5 Configuración de los diferentes escenarios

En este apartado se detalla la configuración de los diferentes escenarios, especificando qué información ha sido utilizada para la realización de cada uno de ellos y qué ajustes se han realizado. Éstos se encuentran resumidos en las tablas 6-6 a 6-8 y en la figura 6-5.

En la tabla 6-6 se muestra las restricciones, incentivos y pesos utilizados en cada escenario.

En el escenario de trayectoria lineal aparece como restricción “*planeamiento modificado*”. Esto se debe a que, al utilizar únicamente las zonas en las que el planeamiento actual señala como urbanizables (más el resto de restricciones ambientales nombradas en dicha tabla), el modelo no consigue terminar debido a que la demanda para los usos del suelo urbano e industrial y comercial supera en creces la disponibilidad de suelo urbanizable que existe según la planificación de 2007. Para solventar este problema, se limitan solo las áreas que en dicha planificación se corresponden con “no urbanizable protegido” y “no urbanizable de protección”, es decir, las zonas más protegidas de ser urbanizadas. De esta manera, se obtiene una mayor extensión de zonas aptas para urbanizar que no están protegidas bajo ninguna ley ambiental, ya que el resto de restricciones ambientales se siguen teniendo en cuenta.

En los otros dos escenarios elaborados, tanto en el escenario verde como en el escenario de recesión económica, sí se ha tenido en cuenta la planificación real de 2007, ya que al disminuir la demanda de uso del suelo urbano e industrial y comercial con respecto al escenario tendencial, el modelo sí consigue terminar.

En el escenario verde, se incorporan como restricción el Parque Nacional del Guadarrama³⁵, las áreas con un valor ecológico superior al 70%, extraídas del mapa realizado por el Grupo de investigación de Tecnologías de la Información Geográfica del CCHS, CSIC, y la propuesta de zonificación de la ZEPA y Red Natura 2000 Cuencas y Encinares de los ríos Alberche y Cofio, realizada también dicho Grupo de investigación³⁶. Las restricciones de usos urbanos e industriales y comerciales del Planeamiento se consideran vigentes hasta el año 2025; es decir, no habrá más disponibilidad de suelo para dicha fecha que la que se asigna en el año 2007.

³⁵ Esta información fue incorporada cuando aún no se había declarado como Parque Nacional.

³⁶ Información sobre el mapa de valor ecológico y la propuesta de zonificación de la ZEPA y Red Natura 2000 Cuenca y Encinares de los ríos Alberche y Cofio puede consultarse en los anexos 1 y 5, respectivamente.

Configuración del modelo	Escenario de trayectoria lineal	Escenario de recesión económica	Escenario verde
Preferencia de localización específica	<p>Áreas en desarrollo (artificiales)</p> <p>Clasificación y calificación de usos del suelo (Planeamiento 2007)</p> <p>La extraída de las especificaciones encontradas en la legislación consultada (anexo 5) para cada uno de los usos del suelo.</p>	<p>Las mismas que en el E. tendencial y además:</p> <p>Usos urbano e Industrial/comercial: Buffers de 1 km y 500 m en autopistas/autovías y carreteras nacionales respectivamente (+500 m en autopistas y autovías que más respuestas tienen en cada uso)</p> <p>Uso urbano: En los núcleos más grandes, buffer de 2 km.</p>	<p>Las mismas que en el E. tendencial y además:</p> <p>Mapa de terreno forestal y Mapa de vegetación potencial</p>
Peso preferencia específica	<p>Urbano 0,2</p> <p>Industrial/Comercial 0,7</p> <p>T. labor 0,3</p> <p>A. Heterogénea 0,3</p> <p>Bosque 0,5</p> <p>Matorral/pastizal 0,2</p> <p>Otro 0</p>	<p>Urbano 0,2</p> <p>Industrial/Comercial 0,7</p> <p>T. labor 0,3</p> <p>A. Heterogénea 0,3</p> <p>Bosque 0,5</p> <p>Matorral/pastizal 0,2</p> <p>Otro 0</p>	<p>Urbano 0,8</p> <p>Industrial/Comercial 0,7</p> <p>T. labor 0,3</p> <p>A. Heterogénea 0,3</p> <p>Bosque 0,5</p> <p>Matorral/pastizal 0,2</p> <p>Otro 0</p>
Peso elasticidades de conversión	<p>Urbano 1</p> <p>Industrial/Comercial 1</p> <p>T. labor 0,8</p> <p>A. Heterogénea 0,6</p> <p>Bosque 0,7</p> <p>Matorral/pastizal 0,5</p> <p>Otro 1</p>	<p>Urbano 1</p> <p>Industrial/Comercial 1</p> <p>T. labor 0,8</p> <p>A. Heterogénea 0,6</p> <p>Bosque 0,7</p> <p>Matorral/pastizal 0,5</p> <p>Otro 1</p>	<p>Urbano 1</p> <p>Industrial/Comercial 1</p> <p>T. labor 0,7</p> <p>A. Heterogénea 0,6</p> <p>Bosque 0,9</p> <p>Matorral/pastizal 0,8</p> <p>Otro 1</p>
Restricciones	<p>Zonificaciones de todos los ENPs y de los embalses.</p> <p>ZEPAs, LICs, Hábitats, Montes preservados y Montes de utilidad pública.</p> <p>Zonas de policía de embalses y ríos</p> <p>Zonas de dominio público, servidumbre y afección de carreteras y ferrocarriles</p> <p>Planeamiento de 2007 modificado</p>	<p>Las mismas que para el escenario tendencia (salvo el planeamiento modificado) y además:</p> <p>Restricciones del mapa de Planeamiento de 2007</p>	<p>Las mismas que para el escenario tendencial (salvo el planeamiento modificado), y además:</p> <p>Parque Nacional del Guadarrama</p> <p>Valor ecológico > 70%</p> <p>Zonificación ZEPA y Red Natura 2000</p> <p>Cuencas y Encinares de los ríos Alberche y Cofio.</p> <p>Restricciones del mapa de Planeamiento de 2007</p>

Tabla 6-6. Parámetros utilizados en los diferentes escenarios realizados con CLUE.

En cuanto a las áreas de preferencia o de incentivos, en el escenario tendencial se han incluido, como localización preferencial de usos urbanos e industriales y comerciales, las zonas que en el planeamiento aparecen como urbanizables. Además, han sido incluidas también, las áreas que especifica el mapa de Áreas potenciales de Desarrollo de la región metropolitana de Madrid, en el que se detallan áreas que pueden ser convertidas a usos urbanos, industriales o terciarios.

En el escenario de recesión económica se han incluido como áreas de preferencia en la localización del uso del suelo urbano e industrial y comercial, además de las utilizadas en el escenario tendencial, las que se encuentran dentro de un radio de hasta 1,5 km. de las autopistas y autovías (en el uso urbano son las áreas que están a 1,5 km de la M-40, M-45 y M-50 y A-1, A-2 y A-6, y en el uso industrial y comercial, la M-40, M-45 y M-50 y A-4, A-5 y A-42, las cuales fueron las que más respuestas obtuvieron en las encuestas en cuanto a la localización de dichos usos), y de hasta 500 m. de las carreteras nacionales; asimismo, para la localización del uso urbano se ha incluido como preferencia las áreas que están a menos de 2 km. de los grandes núcleos urbanos ya existentes.

Para el escenario verde se ha incluido, sin embargo, la información extraída del mapa de terreno forestal, el cual diferencia entre bosque, matorral y cultivo, y del mapa de vegetación potencial, el cual puede ser diferenciado entre bosque y matorral. Así, en las áreas que están detalladas en ambos mapas como bosque, se incentivará el bosque, y lo mismo para los usos de matorral y cultivos.

Asimismo, se han incluido en los tres escenarios incentivos determinados por las especificaciones de los diversos planes de ordenación de los diferentes espacios naturales protegidos. Para un mayor detalle puede consultarse el anexo 5.

En los tres escenarios nombrados se han utilizado también la información sobre áreas quemadas detallada en el CLC nivel 3 del año 2006. Estas áreas, al estar bajo una legislación que prohíbe el cambio de uso del suelo en 30 años, se han considerado como estables durante 30 años o que pueden transformarse a matorral o a bosque, según sea su uso del suelo inicial, una vez transcurridos al menos 10 años.

Por otra parte, la demanda de los diferentes usos del suelo ha sido asignada en CLUE de forma manual, especificando el número de hectáreas que tendrá cada uso del suelo en el año 2025. Dicha demanda asignada se encuentra detallada en la tabla 6-7.

Demanda	2006	E. tendencial	E. recesión	E. verde
Urbano	84.793	112.969	89.473	98.918
Industrial y Comercial	15.762	21.473	16.779	18.686
T. de labor	245.331	216.463	242.433	216.648
Agricultura Heterogénea	52.146	52.153	50.684	52.413
Bosques	78.525	77.883	77.899	89.298
Matorral y pastizal	307.147	302.765	306.438	307.744
Otro	19.087	19.087	19.087	19.087

Tabla 6-7. Demanda asignada a cada uso del suelo en los diferentes escenarios realizados con CLUE, en hectáreas, en comparación con los datos reales del año 2006.

En el escenario tendencial realizado con LCM se han utilizado las mismas restricciones y acciones a favorecer que en el escenario de trayectoria lineal realizado con CLUE. En cuanto a la demanda de cada uso del suelo, ésta viene determinada por una matriz de transición donde se indica la probabilidad de cambio de un uso hacia otro uso. La matriz utilizada se detalla en la tabla 6-8.

	Urbano	Industrial Comercial	T. labor	Agricultura Heterogénea	Bosques	Matorral Pastizal	Otro
Urbano	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Industrial Comercial	0,1071	0,8747	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
T. labor	0,1350	0,0200	0,8350	0,0012	0,0001	0,0082	0,0000
Agricultura Heterogénea	0,0080	0,0014	0,0027	0,9602	0,0016	0,0247	0,0000
Bosques	0,0120	0,0003	0,0002	0,0001	0,9580	0,0470	0,0000
Matorral Pastizal	0,0220	0,0050	0,0109	0,0027	0,0060	0,9440	0,0000
Otro	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000

Tabla 6-8. Matriz de probabilidad de conversión de cada uso del suelo para el escenario de trayectoria lineal realizado con LCM, en tantos por uno.

El factor de vecindad tiene un efecto importante en los patrones de cambios de usos del suelo; se utiliza especialmente en modelos urbanos de autómatas celulares. En LCM está incorporado en el funcionamiento interno del programa. CLUE permite la incorporación de valores de vecindad de forma independiente; éstos han sido aplicados a los usos del suelo urbano e industrial y comercial, ambos con una configuración de 5x5, y al uso bosque, con una vecindad de 2x2, tal y como se detalla en la figura 6-5.

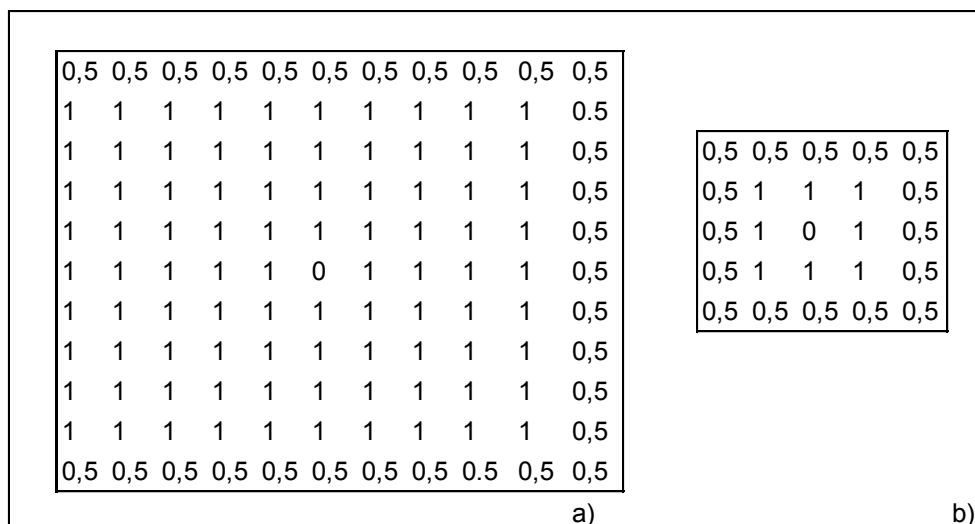


Figura 6-5. Factor de vecindad utilizado en las tres simulaciones realizadas con CLUE, para los usos del suelo urbano e industrial y comercial (caso a) y bosque (caso b).

6.2.3 Calibración de los modelos y validación de los resultados

La calibración se refiere al proceso de producción de un modelo, con el fin de que éste sea lo más consistente con los datos de base utilizados, mientras que la validación es la demostración de que el modelo, dentro de su dominio de aplicabilidad, posee un rango satisfactorio de exactitud.

En el capítulo 3, apartado 3.3.4 se detallaron varios métodos que se han desarrollado en los últimos años y que pueden utilizarse a la hora de realizar la calibración y/o validación de los modelos de cambios de usos del suelo. Como ya se puntualizó, no existe una metodología específica para calibrar y validar dichos modelos, si bien son varios los expertos que consideran que la validación del modelo debe ser realizada en términos de localización y de cantidad. Asimismo, tampoco hay un criterio de lo que se considera un “buen acierto” entre los datos de validación y la predicción del modelo. Es por ello que, en este trabajo, se ha querido hacer uso de diferentes técnicas para calibrar y validar los modelos aquí realizados, con el objeto de obtener una mayor precisión de los resultados obtenidos.

La calibración y la validación se han realizado comparando el mapa simulado al año 2006 con el mapa de referencia del mismo año. Tal y como se detalló en el capítulo 3, diferentes opiniones apuntan que la calibración y la validación no debe realizarse utilizando los mismos datos, si bien, son varios los trabajos que utilizan el mismo dato temporal para realizar ambos procedimientos (Brown et al., 2002; Verburg et al., 2002; Aguilera et al., 2008). En el presente trabajo, para la realización de los escenarios, sólo se cuentan con tres datos temporales, por lo que sería necesario un cuarto dato temporal para validar el modelo de manera independiente, ya que los dos primeros se han utilizado

como datos de entrada en el modelo; es decir, mediante el análisis de los dos primeros datos (años 1990 y 2000) se simularía al año 2006; su resultado sería calibrado comparándolo con el mapa real del año 2006 y, una vez obtenida una buena calibración, se simularía a otro año posterior, en caso de tener dicho dato temporal, con el que se realizaría la validación.

En la validación, se han llevado a cabo comparaciones en términos de cantidad y de localización; la primera considera la proporción de cada categoría de uso del suelo que aparece en un mapa y si ésta es similar a la proporción de la correspondiente categoría en otro mapa; la segunda, considera la posición de cada categoría en un mapa y si ésta es coincidente con la posición de esa categoría en otro mapa.

Se han comparado los mapas simulados al año 2006 con el mapa de referencia (2006) y se ha cotejado con el resultado obtenido con un *null model* y con un *random model*. El *null model* es un modelo simple que asume la completa persistencia de los usos del suelo en el tiempo y su precisión viene determinada por el porcentaje de acuerdo entre el mapa de referencia del año inicial y el mapa de referencia de la segunda fecha. Un modelo *random* es un modelo obtenido por azar.

Pontius et al. (2004a,b) sugieren que el modelo de predicción que se elabora debe ser mejor que la concordancia entre los datos de validación y la predicción del *null model*. Asimismo, Pontius et al. (2008) proponen la utilización de la *figure of merit*, que mide la proporción de la intersección de los cambios observados y el cambio predicho con la unión del cambio observado y el cambio predicho, y la utilización de los componentes de acuerdo o desacuerdo en cuanto a la localización y a la cantidad, definidos como la diferencia entre el mapa de referencia y el mapa de comparación que es menor a la coincidencia óptima en las proporciones o en la asignación espacial de las categorías, teniendo en cuenta las proporciones de las categorías de ambos mapas.

Como se ha visto previamente, cualquier medida de comparación de mapas es extremadamente sensible a la escala de detalle de los análisis. Es por ello que también se ha realizado la validación a resolución múltiple, utilizando el método de Costanza (1989).

En los modelos de trayectoria lineal realizados con CLUE, la localización de los usos del suelo está basada en análisis de regresión logística, mientras que la función de la demanda, hasta el año 2006, es una interpolación lineal desde el año de inicio y los siguientes años que se utilizan en el estudio, por lo que la cantidad simulada en cada uso del suelo siempre suele ser correcta, ya que realmente no se está prediciendo, sino que se están tomando los datos reales; esto es: solo los patrones espaciales son los simulados. En LCM, sin embargo, se predice tanto la localización como la cantidad, ya que esta última se basa en

una matriz de probabilidades de transición; la localización se basa en análisis de MLP.

A la hora de calibrar el modelo, en CLUE se realizaron ajustes modificando las elasticidades de conversión de cada uso del suelo, aumentando o disminuyendo los factores de vecindad, y obteniendo nuevos valores en las regresiones logísticas mediante la introducción o la omisión de las diferentes variables. En cuanto al modelo realizado en LCM, éste se calibró mediante la modificación de las probabilidades de transición de cada uso del suelo, en cuanto a cantidad y en cuanto a localización realizando nuevos análisis de MLP, introduciendo u omitiendo también variables explicativas.

Se ha hecho uso del software gratuito Map Comparision Kit, versión 3, desarrollado por RIKS, obteniendo valores Kappa (incluyendo K Location y K Histogram), Fuzzy Kappa (incluyendo K TransLoc y K Transition) y K Simulation, así como mapas donde se localizan los aciertos y desaciertos obtenidos. También se ha hecho uso de un programa que incluye el software del modelo CLUE, denominado Validation.exe, que permite obtener los valores de validación según el método de Constanza de manera automatizada. Asimismo, se ha utilizado una plantilla Excel, desarrollada por Pontius, para obtener valores de acuerdo y desacuerdo, y la *figure of merit*.

6.3 RESULTADOS

6.3.1 Trayectoria pasada de los usos del suelo

Tal y como se ha comentado anteriormente, para la realización de los escenarios se ha hecho uso de una clasificación diferente de cubiertas y usos del suelo a la utilizada en los análisis de cambios de usos llevados a cabo en el capítulo 5. Es de esperar que lo sucedido en el pasado tenga relación con lo que puede ocurrir en el futuro; es por ello que se han realizado análisis de las trayectorias que ha seguido la CM entre 1990 y 2006, utilizando únicamente las 7 categorías que se definieron para la creación de los escenarios.

Se muestra aquí, brevemente, los resultados obtenidos.

Como puede verse en la figura 6-6, haciendo uso de esta clasificación, durante los años 1990, 2000 y 2006, los usos urbano e industrial y comercial han continuado creciendo desde 1990 (han pasado de ocupar 49.269 y 7.791 ha. en 1990 a ocupar 84.793 y 15.762 ha. en el año 2006, respectivamente) mientras que las tierras de labor han experimentado un decrecimiento continuo (desde 281.936 ha. en 1990 a 245.331 ha. en 2006).

La agricultura heterogénea y los bosques se han mantenido más o menos estables, experimentando altibajos en estos años (la primera con valores en

torno a los 52.000 ha. y oscilando la segunda en torno a las 78.000 ha. y 81.000 ha. en los tres momentos temporales).

Las mayores extensiones son las ocupadas por el matorral y pastizal, seguidas de las tierras de labor.

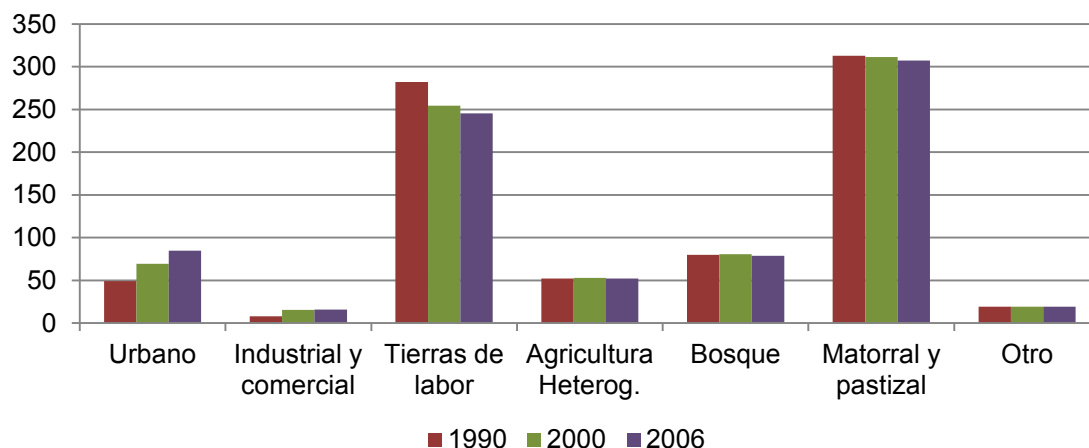


Figura 6-6. Evolución de los usos del suelo entre los años 1990, 2000 y 2006, utilizando la leyenda creada para la elaboración de los escenarios, en miles de hectáreas.

La categoría Otros engloba a usos del suelo que se consideran estáticos, por lo que se mantiene estable en el tiempo.

En cuanto a las ganancias y las pérdidas que han sido registradas en el periodo 1990 y 2006 puede observarse, en la figura 6-7, que las categorías más activas, en cuanto a su superficie, han sido las tierras de labor y el matorral y pastizal en cuanto a pérdidas, y las categorías urbano y matorral y pastizal, en cuanto a ganancias. La categoría matorral y pastizal es la que registra, además, mayores intercambios. Las categorías bosque y agricultura heterogénea han experimentado también grandes intercambios, ya que prácticamente ganan en hectáreas lo mismo que pierden.

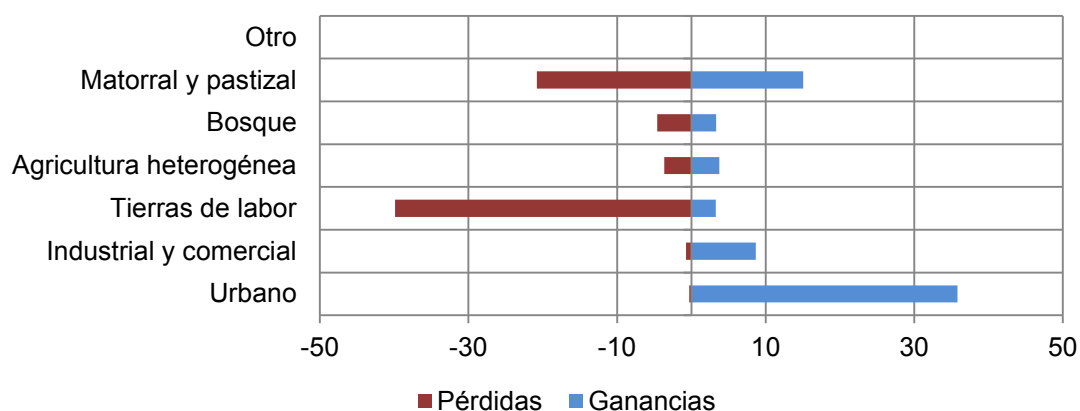


Figura 6-7. Pérdidas (en rojo) y ganancias (en azul) registradas en cada uno de los usos del suelo en el periodo 1990 y 2006, en miles de hectáreas.

6.3.2 Influencia de las variables explicativas (*driving factors*)

La relación entre las variables explicativas y los usos del suelo ha sido evaluada mediante análisis de regresión logística (LR) en CLUE y mediante análisis de *multi-layer perceptron neural network* (MLP) en LCM.

Se detalla, en los siguientes apartados, los resultados obtenidos en cada modelo estadístico utilizado.

A pesar de que existen muchas otras variables explicativas que no se han sido utilizadas en este trabajo, los factores explicativos empleados han mostrado ser significativos de la localización y de los cambios de usos del suelo, como se pondrá de manifiesto en los resultados obtenidos.

Dado que los patrones de usos del suelo presentan prácticamente siempre autocorrelación espacial (Overmars et al., 2003), se realizó, antes de llevar a cabo los análisis de LR y MLP, un análisis de correlación de Pearson con el objetivo de observar la correlación entre las variables seleccionadas. Los coeficientes obtenidos se muestran en la tabla 6-9.

En dicha tabla, puede observarse que existen variables altamente correlacionadas como, por ejemplo, la distancia a la ciudad de Madrid con la accesibilidad a la misma ciudad de Madrid, pero también con la accesibilidad a otras ciudades y al aeropuerto de Barajas, o con la accesibilidad a las carreteras.

Las variables que estaban altamente correlacionadas fueron eliminadas del modelo, ya que no proporcionaban una contribución significativa, por lo que se optó por seleccionar únicamente una de ellas.

	Alt	Pend	R. Plut.	R. Met.	Arcilla	Limos	Arena	F. valle	DCM	DOCA	DF	DAA	DE	DR	AM	AOCA	AC
Alt	1,000	0,572	0,253	0,630	-0,367	-0,106	-0,031	-0,252	0,552	0,434	-0,064	0,312	-0,257	0,873	0,513	0,578	0,277
Pend	0,572	1,000	0,120	0,431	-0,273	-0,042	-0,020	-0,110	0,430	0,358	0,143	0,304	-0,150	0,455	0,433	0,476	0,353
R. Plut.	0,253	0,120	1,000	-0,184	-0,401	-0,170	-0,081	-0,203	0,347	-0,127	0,056	-0,074	-0,384	0,364	0,264	0,136	0,267
R. Met.	0,630	0,431	-0,184	1,000	-0,308	-0,131	-0,062	-0,156	0,481	0,435	-0,017	0,268	-0,244	0,591	0,458	0,560	0,231
Arcilla	-0,367	-0,273	-0,401	-0,308	1,000	-0,285	-0,135	-0,340	-0,609	-0,251	-0,198	-0,366	0,167	-0,366	-0,609	-0,467	-0,349
Limos	-0,106	-0,042	-0,170	-0,131	-0,285	1,000	-0,057	-0,145	0,081	0,094	0,246	0,357	0,409	-0,165	0,133	0,069	0,046
Arena	-0,031	-0,020	-0,081	-0,062	-0,135	-0,057	1,000	-0,068	0,005	0,021	0,040	0,042	0,020	-0,032	0,018	0,034	0,000
F. valle	-0,252	-0,110	-0,203	-0,156	-0,340	-0,145	-0,068	1,000	-0,064	-0,007	-0,006	0,007	0,055	-0,289	-0,003	-0,102	-0,069
DCM	0,552	0,430	0,347	0,481	-0,609	0,081	0,005	-0,064	1,000	0,495	0,462	0,460	-0,068	0,604	0,950	0,824	0,664
DOCA	0,434	0,358	-0,127	0,435	-0,251	0,094	0,021	-0,007	0,495	1,000	0,248	0,488	0,241	0,431	0,522	0,661	0,320
DF	-0,064	0,143	0,056	-0,017	-0,198	0,246	0,040	-0,006	0,462	0,248	1,000	0,446	0,254	-0,078	0,512	0,548	0,643
DAA	0,312	0,304	-0,074	0,268	-0,366	0,357	0,042	0,007	0,460	0,488	0,446	1,000	0,166	0,269	0,579	0,573	0,541
DE	-0,257	-0,150	-0,384	-0,244	0,167	0,409	0,020	0,055	-0,068	0,241	0,254	0,166	1,000	-0,320	-0,017	0,034	-0,078
DR	0,873	0,455	0,364	0,591	-0,366	-0,165	-0,032	-0,289	0,604	0,431	-0,078	0,269	-0,320	1,000	0,521	0,581	0,234
AM	0,513	0,433	0,264	0,458	-0,609	0,133	0,018	-0,003	0,950	0,522	0,512	0,579	-0,017	0,521	1,000	0,846	0,745
AOCA	0,578	0,476	0,136	0,560	-0,467	0,069	0,034	-0,102	0,824	0,661	0,548	0,573	0,034	0,581	0,846	1,000	0,704
AC	0,277	0,353	0,267	0,231	-0,349	0,046	0,000	-0,069	0,664	0,320	0,643	0,541	-0,078	0,234	0,745	0,704	1,000

Tabla 6-9. Coeficientes de correlación de Pearson, bivariantes, entre las variables explicativas utilizadas. Abreviaturas: Alt (altitud); Pend (pendiente); R. Plut. (Rocas plutónicas); R. Met. (Rocas metamórficas); F. valle (materiales de fondo de valle); DCM (Distancia a la ciudad de Madrid); DOCA (Distancia a otras ciudades y al aeropuerto); DF (Distancia a ferrocarril); DAA (Distancia a autopistas y autovías); DE (Distancia a embalses); DR (Distancia a ríos); AM (Accesibilidad a la ciudad de Madrid); AOCA (Accesibilidad a otras ciudades y al aeropuerto); y AC (Accesibilidad a carreteras). En todos los casos, la correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral), salvo los señalados en rojo (el valor -0,003 tiene un Sig. = 0,059 y el valor 0,000 tiene un sig. = 0,892).

6.3.2.1 CLUE: regresión logística.

Mediante análisis de regresión logística se determinó la relación entre cada uso del suelo y las variables explicativas.

En la tabla 6-10 puede verse qué variables fueron incluidas mediante un procedimiento *stepwise* junto con sus niveles de significancia. Todas las regresiones y correlaciones presentadas son estadísticamente significativas ($P < 0,001$). Las variables han sido trabajadas observando el grado que cada una explica en la localización de un determinado uso del suelo. Por tanto, han sido seleccionadas únicamente aquellas que más explican dicha probabilidad; las variables que no explican adecuadamente la probabilidad de localización y/o cuya presencia no genera una diferencia reseñable en el ROC fueron eliminadas; éstas últimas están representadas en la tabla 6-10 sin valores en B y Exp(B).

Así, en la tabla puede observarse, por ejemplo, que la probabilidad de localización del uso urbano está relacionada con una menor pendiente, una menor distancia a otras ciudades y al aeropuerto de Barajas y un tiempo de viaje menor a la propia ciudad de Madrid. El uso industrial y comercial está relacionado también con una menor pendiente, una mayor accesibilidad a las carreteras y a otras ciudades y al aeropuerto y una menor distancia a las vías férreas. Las tierras de labor tienden a localizarse en zonas con poca pendiente y cerca de los cursos fluviales, sobre suelos de limos y con materiales de fondo de valle, evitando los suelos conformados por rocas plutónicas y metamórficas. Por otra parte, la agricultura heterogénea tiende a localizarse sobre limos y arenas y en áreas con menor pendiente y altitud. El bosque y el matorral y pastizal, sin embargo, tienen más probabilidad de localizarse en zonas con pendiente, el primero relacionado también con una menor accesibilidad a las carreteras, y el segundo sobre suelos conformados por rocas plutónicas y metamórficas.

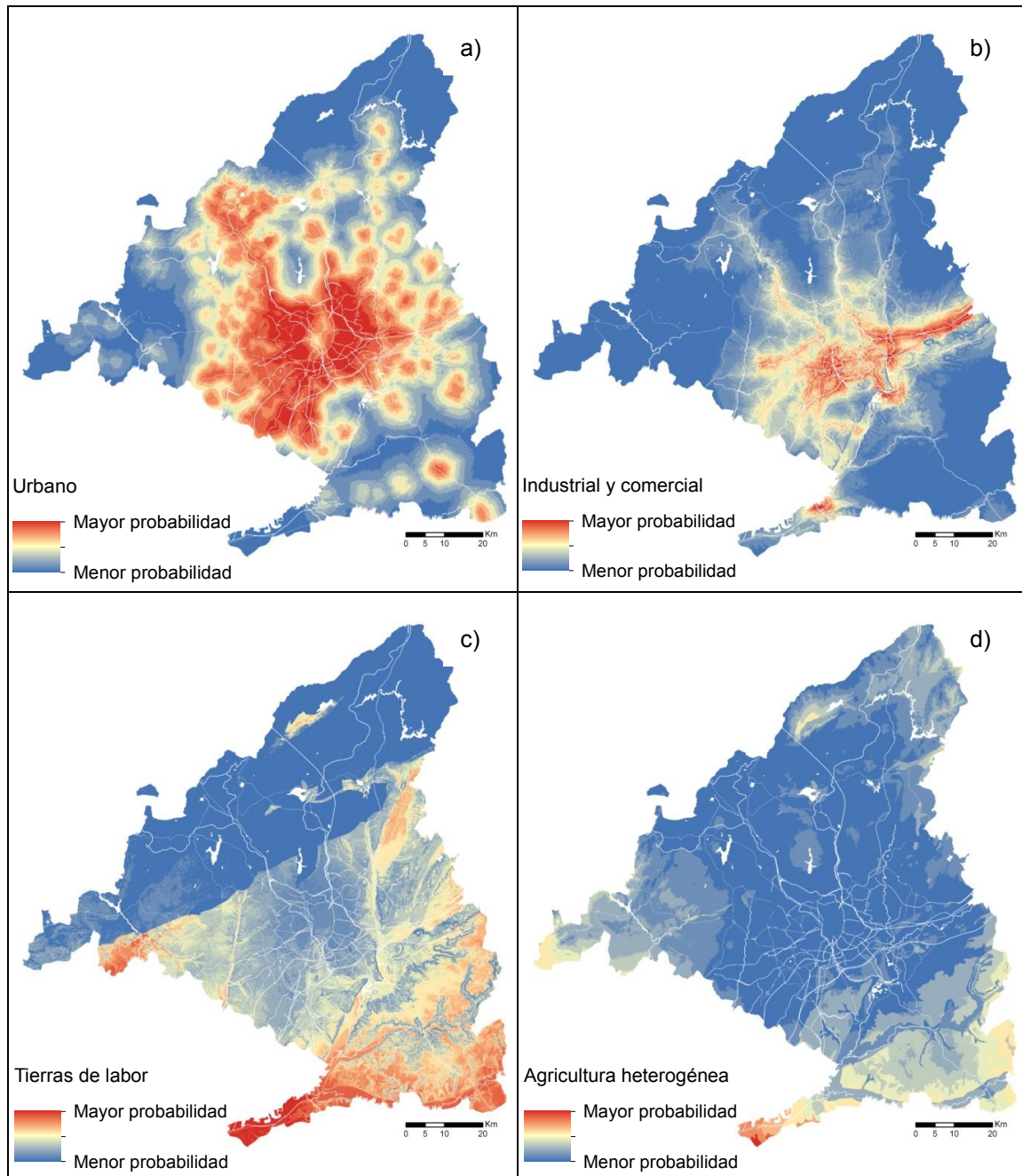
El ROC fue utilizado para observar la bondad de ajuste de los modelos de regresión logística obtenidos para cada uso del suelo. Como puede observarse, el *Area Under the Curve* (AUC) se encuentra comprendida entre 0,763, correspondiente al uso agricultura heterogénea, y 0,852, correspondiente al uso urbano.

Aunque los coeficientes obtenidos son aceptables, los usos del suelo que tienen un coeficiente más bajo en el ROC pueden deberse a que las variables explicativas no han sido capaces de capturar el proceso adecuadamente.

Variable dependiente	Variable independiente											
	Urbano		Industrial-comercial		Tierras de Labor		Agric. heterogénea		Bosque		Matorral-pastizal	
	Beta	Exp(B)	Beta	Exp(B)	Beta	Exp(B)	Beta	Exp(B)	Beta	Exp(B)	Beta	Exp(B)
Constante	1,754	5,776	-3,042	0,048	-1.611	0,200	-3,319	0,036	-4,900	0,007	-2,929	0,053
Altitud	-	-	-	-	-	-	-0,002065	0,998	-	-	-	-
Pendiente	-0,020257	0,980	-0,075625	0,927	-0,073987	0,929	-0,003645	0,996	0,035959	1,037	0,030616	1,031
R. Plutónicas	-	-	-	-	-1,917806	0,147	-	-	-	-	1,105746	3,021
R. Metamórficas	-	-	-	-	-2,496729	0,082	-	-	-	-	1,284865	3,614
Arcillas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Limos	-	-	-	-	0,507707	1,661	0,920560	2,511	-	-	-	-
Arenas	-	-	-	-	-	-	0,707824	2,030	-	-	-	-
Mat. fondo de valle	-	-	-	-	0,489811	1,632	-	-	-	-	-	-
Dist. ciudad Madrid	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dist. a otras ciudades y aeropuerto	-0,000383	1,000	-	-	-	-	0,000038	1,000	0,000026	1,000	-	-
Dist. ff.cc	-	-	-0,000175	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-
Dist. autovías y autopistas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dist. embalses	0,000054	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dist. ríos	0,000050	1,000	-0,000059	1,000	-0,000047	1,000	0,000017	1,000	0,000053	1,000	-	-
Accesib. a la ciudad Madrid	-0,001362	0,999	-	-	0,000915	1,001	0,000670	1,001	-	-	-	-
Accesib. a otras ciudades y aeropuerto	-	-	-0,000431	1,000	-	-	-	-	-	-	0,000674	1,001
Accesibilidad a carreteras	-	-	-0,001506	0,998	-	-	-	-	0,000912	1,001	-	-
ROC	0,852		0,806		0,821		0,763		0,843		0,813	

Tabla 6-10. Resultados de la regresión logística y ROC para cada uno de los usos del suelo estudiados. Accesibilidad medida como tiempo de viaje.

Los mapas de probabilidad obtenidos para cada uno de los usos del suelo con los que se trabaja, están representados en la figura 6-8. Estos mapas muestran, espacialmente, los resultados extraídos de los análisis de regresión logística e indican la probabilidad de localización de cada uno de los usos del suelo en la CM.



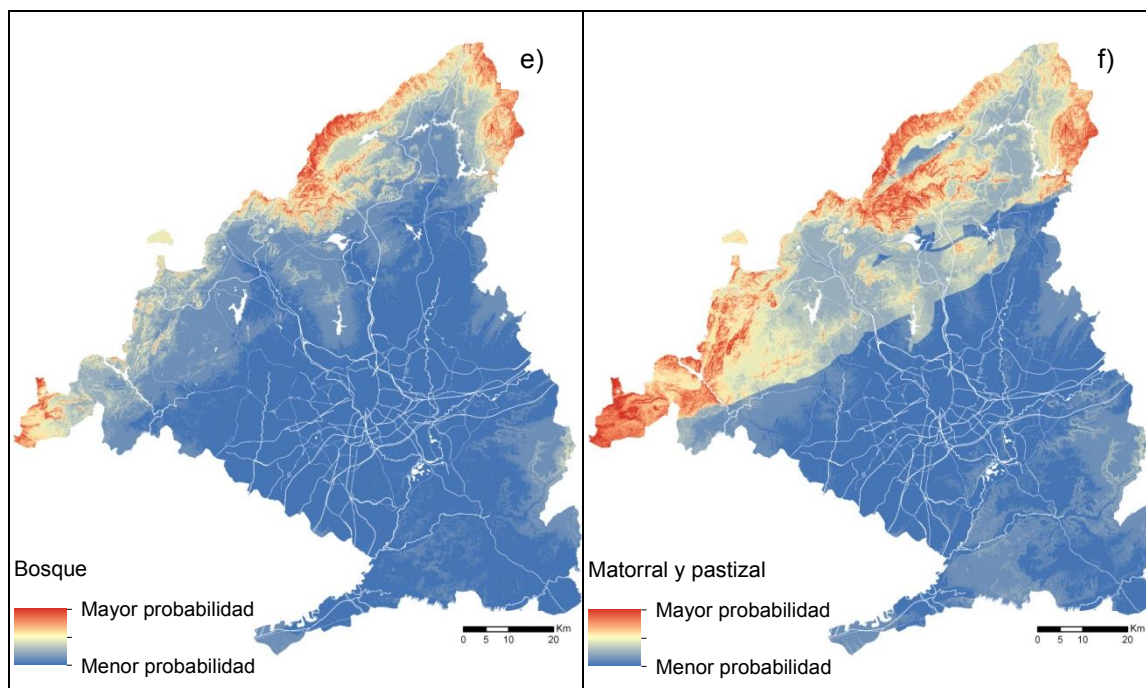


Figura 6-8. Mapas de probabilidad de localización de cada uno de los usos del suelo [a) Urbano; b) Industrial y comercial; c) Tierras de labor; d) Agricultura heterogénea; e) Bosque; y f) Matorral y pastizal], donde los colores fríos (azules) muestran menor probabilidad que los colores cálidos (rojos).

6.3.2.2 LCM: MLP

En el modelo realizado con LCM las variables explicativas se utilizaron para determinar su influencia sobre el cambio. Para ello, se utilizó el MLP, procedimiento incluido dentro del LCM.

Cada transición se trabajó de manera independiente; esto es, todas las variables explicativas fueron introducidas en cada una de las transiciones y se estudió la influencia de cada variable por separado para cada transición. Los valores de precisión que se obtuvieron se detallan en la tabla 6-11.

Los RMS de error obtenidos, tanto en *training* como *testing*, oscilan entre un mínimo de 0,1089, para la transición de Agricultura heterogénea a Industrial y comercial, y un máximo de 0,4545, para la transición de Tierras de labor a Matorral y pastizal, estando la mayoría comprendidos entre 0,3000 y 0,4000.

Es recomendable que al menos existan 5.000 píxeles de cambio en cada una de las transiciones. Hay que decir que 7 de las 18 transiciones existentes poseen menos de 5.000 píxeles de cambio. Éstas se corresponden con Bosque a Urbano, Matorral y pastizal a Agricultura heterogénea, Industrial y comercial a Urbano, Agricultura heterogénea a Industrial y comercial, Tierras de labor a Bosque, Agricultura heterogénea a Tierras de labor, y Agricultura heterogénea a Bosque. Las tres últimas transiciones mencionadas tienen, además, menos

de 1.000 píxeles de cambio, lo cual puede estar causando un sobre-ajuste en los resultados; estas transiciones con escasos píxeles de transición pueden no ser de interés, ya que el resultado no va a ser bueno y el proceso no es explicativo del cambio que ha sucedido en la región, por lo que las categorías que lo integran deberían ser agregadas a otras categorías. Sin bien, como el objetivo de este estudio era comparar el resultado de este modelo con el modelo realizado con CLUE se optó por mantener dichas transiciones.

Transición	Accuracy rate	Skill measure	Skill change	Skill persistence
Industrial/comercial a Urbano	80,73%	0,6145	0,6490	0,5800
Tierras de labor a Urbano	84,53%	0,6906	0,7256	0,6555
Tierras de labor a Industrial/comercial	81,78%	0,6356	0,7205	0,5507
T. de labor a Agricultura heterogénea	85,68%	0,7137	0,7246	0,7028
Tierras de labor a Bosque	82,49%	0,6498	0,4479	0,8523
Tierras de labor a Matorral/pastizal	66,63%	0,3325	0,3359	0,3292
Agricultura heterogénea a Urbano	76,04%	0,5208	0,5255	0,5161
A. heterogénea a Industrial/comercial	98,74%	0,9748	1,0000	0,9484
A. heterogénea a Tierras de labor	87,90%	0,7579	0,7164	0,7993
Agricultura heterogénea a Bosque	91,15%	0,8229	0,9115	0,7344
A. heterogénea a Matorral/pastizal	82,03%	0,6407	0,5543	0,7271
Bosque a Urbano	89,08%	0,7816	0,7769	0,7862
Bosque a Matorral/pastizal	75,93%	0,5187	0,5456	0,4914
Matorral/pastizal a Urbano	87,59%	0,7518	0,7751	0,7284
Matorral/pastizal a Industrial/comercial	93,77%	0,8754	0,9323	0,8185
Matorral/pastizal a Tierras de labor	84,27%	0,6854	0,9114	0,4607
Matorral/pastizal a A. heterogénea	84,89%	0,6978	0,6627	0,7333
Matorral/pastizal a Bosque	81,12%	0,6224	0,6986	0,6779

Tabla 6-11. Valores de precisión obtenidos en cada transición de usos del suelo utilizando MLP. En rojo, los valores por debajo de 0,600.

Al utilizar cada transición independientemente, el valor mínimo de *accuracy* que puede ser obtenido es de un 50%; se recomienda que este valor se encuentre por encima de 75%. El *accuracy* es dependiente del número de transiciones que utilizan, mientras que la medida de *skill* nos da un valor real de precisión. Es por ello que, en la tabla 6-11, se muestran las dos medidas de precisión. La transición que peor modelada ha sido se corresponde con la de Tierras de labor a Matorral y pastizal.

En la figura 6-9 se muestran cuatro ejemplos de mapas de probabilidades de transición que fueron obtenidos como resultado de los análisis de MLP realizados. Como puede observarse, sólo se modela el potencial de transición

para el cambio que se ha dado con anterioridad, es decir, si la transición modelada es de agricultura a bosque, los valores de probabilidad solo existirán en los píxeles de agricultura presentes en el año inicial.

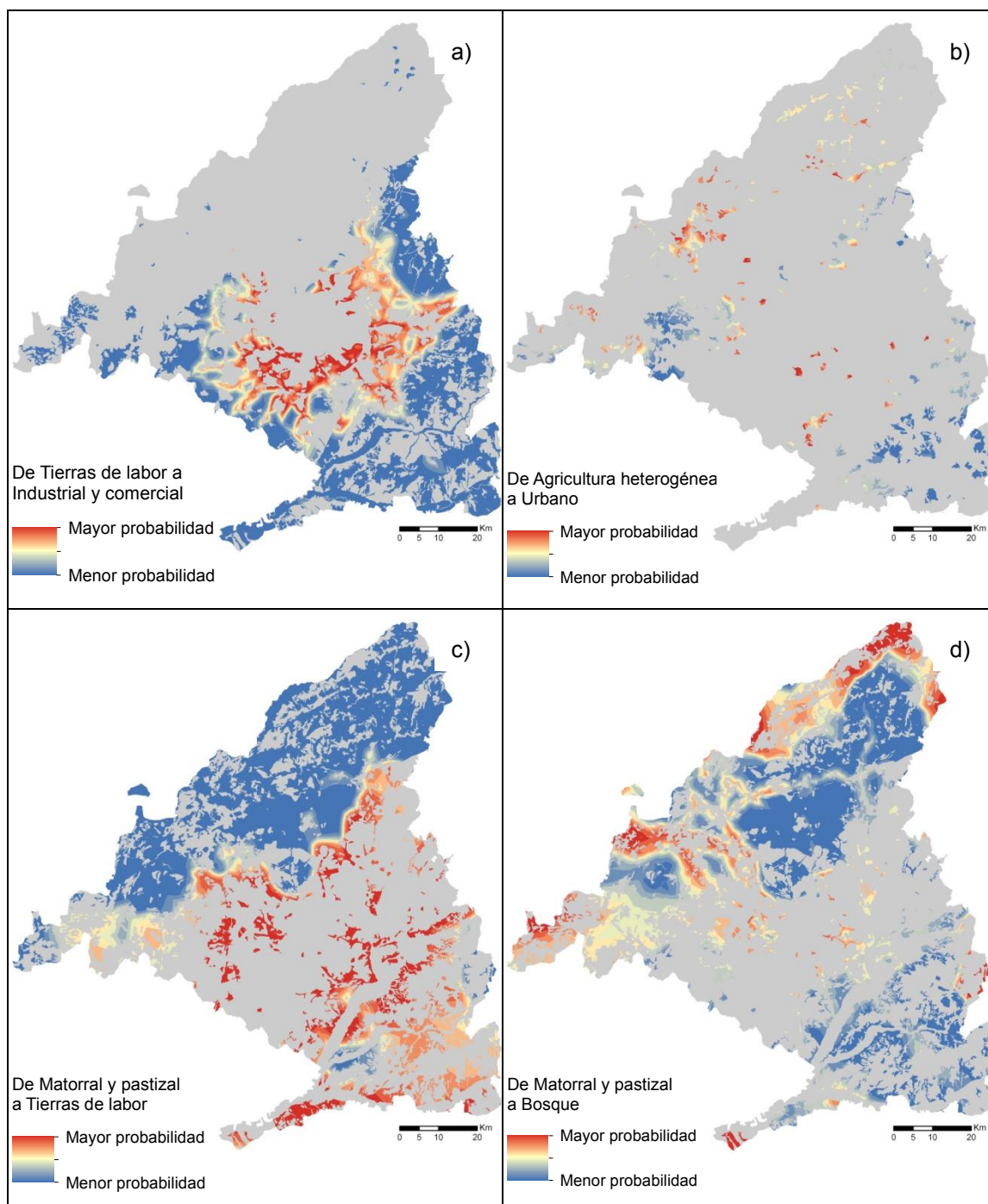


Figura 6-9. Mapas de probabilidad de cambio. Transiciones: a) De Tierras de labor a Industrial y comercial; b) De Agricultura heterogénea a Urbano; c) De Matorral y pastizal a Tierras de labor; d) De Matorral y pastizal a Bosque. Los colores fríos (azules) muestran menor probabilidad que los colores cálidos (rojos).

6.3.3 Calibración de los modelos

Con el objetivo de obtener el mejor resultado posible, tanto los modelos realizados con CLUE como el realizado con LCM, se corrieron más de 30 veces, realizando pequeños cambios y obteniendo, paso a paso, mejoras.

Se presenta en este apartado varios ejemplos para detallar cómo estos pequeños cambios fueron mejorando el modelo, en este caso, en el escenario de trayectoria lineal realizado con CLUE, mostrando así la importancia de la calibración.

En CLUE los modelos fueron corridos en más de 50 ocasiones. Como ya se especificó, en cada intento, se fue modificando el valor de las demandas, los valores utilizados en las elasticidades de conversión, en los mapas de preferencia específica y/o en las matrices de vecindad.

La tabla 6-12 permite observar los valores de los estadísticos Kappa y Fuzzy Kappa de diez modelos elaborados y cómo mediante las modificaciones arriba mencionadas fueron alcanzándose valores cada vez más altos.

Pruebas realizadas	Kappa	Fuzzy Kappa
5	0,826	0,647
5 vecindad	0,828	0,651
5 vecindad 5x5	0,827	0,650
5 vecindad 3x3	0,832	0,651
8 sin localización específica	0,843	0,682
9 con localización específica 2	0,849	0,695
9 con localización específica 2_c	0,857	0,709
9 con localización específica 2_f	0,861	0,717
9 con localización específica 2_h	0,866	0,727
9 con localización específica 2_q	0,868	0,731

Tabla 6-12. Valores de precisión Kappa y Fuzzy Kappa para diez modelos diferentes elaborados en CLUE, obtenidos al comparar el mapa real del año 2006 con el dato simulado de manera tendencial al año 2006.

La figura 6-10 muestra un ejemplo de comparación entre diferentes mapas simulados al año 2006 y el mapa de la realidad del 2006. Todos los mapas aquí mostrados se realizaron con las mismas restricciones y demandas; las diferencias vienen dadas por los valores de vecindad y de elasticidades de conversión y de preferencia específica. En el mapa b) se simuló utilizando una vecindad de 5x5 para los usos urbanos e industriales; en el mapa c) no se utilizó ninguna preferencia específica o incentivos; y en el mapa d) se utilizaron tanto los valores de vecindad nombrados anteriormente como mapas de preferencia específica, así como unas elasticidades de conversión más ajustadas que los dos mapas anteriores.

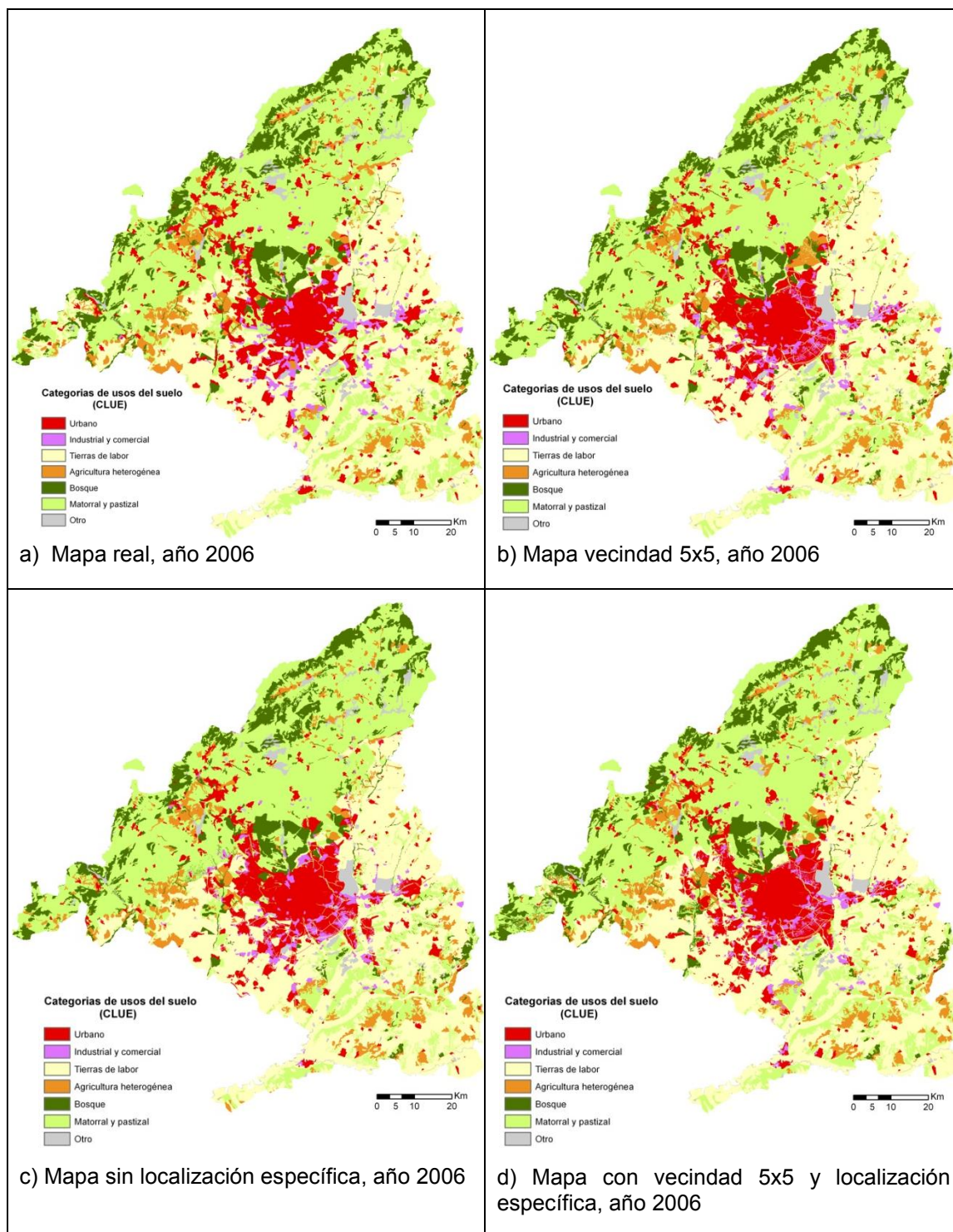


Figura 6-10. Ejemplo de calibración comparando el mapa real del año 2006 (a) con tres diferentes mapas simulados de manera tendencial en CLUE al año 2006 (b, c y d).

En cuanto a las diferencias obtenidas con el mapa real del 2006 y los mapas simulados presentes en la figura 6-10, puede observarse, por ejemplo, que en el mapa b) la masa urbana es mucho más compacta y en la zona más al suroeste de la CM desaparecen los usos agrícolas, mientras que al norte de la masa urbana aparece una gran área dedicada a agricultura heterogénea.

En el mapa c) las áreas urbanas se concentran, especialmente, en torno a la autopista A-6, mientras que las zonas industriales y comerciales están localizadas al sureste de la masa urbana; las zonas agrícolas se ajustan más a la realidad del año 2006 que el mapa anterior.

En el mapa d) la masa urbana e industrial y comercial está más desperdigada por el territorio, y al igual que el mapa c) las zonas agrícolas están más ajustadas.

En las áreas forestales, a la escala espacial aquí mostrada y, al ser usos que no han variado cuantiosamente, visualmente no se observan cambios entre los diferentes mapas, pero sí hay diferencias respecto a uno y otro mapa.

Las figuras 6-11 y 6-12 permiten observar algunas de estas diferencias con más detalle.

En ellas, se muestran dos ejemplos utilizando el mapa de la realidad del año 2006 y los mapas simulados con vecindad de 5x5 y con vecindad y localización específica comentados anteriormente, para dos usos del suelo: urbano (figura 6-11) y agricultura heterogénea (figura 6-12).

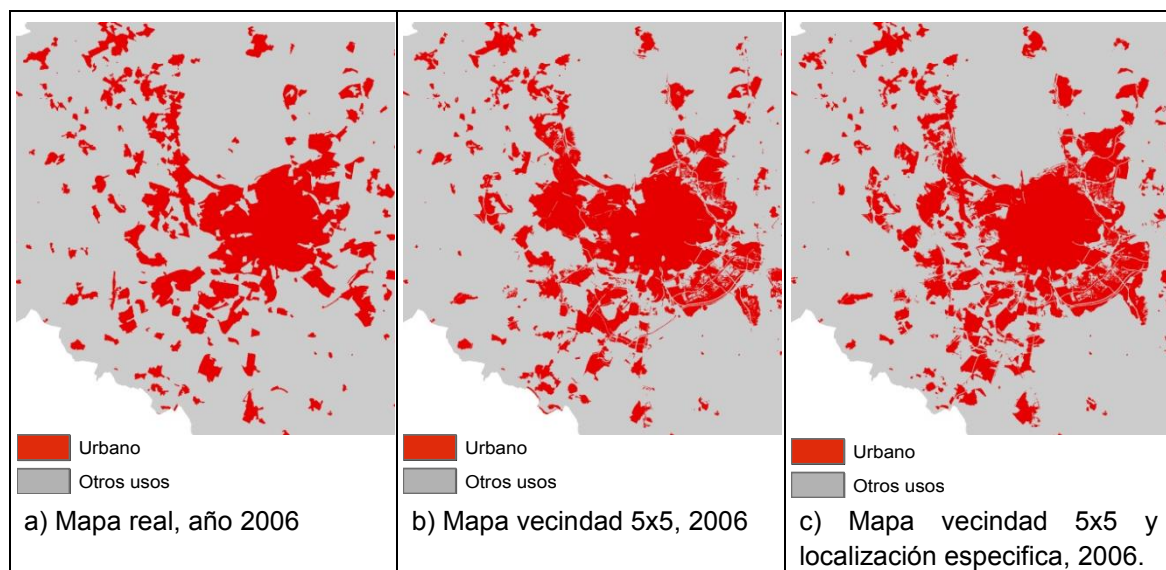


Figura 6-11. Ejemplo, en detalle, de la calibración realizada en CLUE para el uso del suelo Urbano, comparando el mapa real del año 2006 (a) con dos mapas simulados de manera tendencial al año 2006 (b y c).

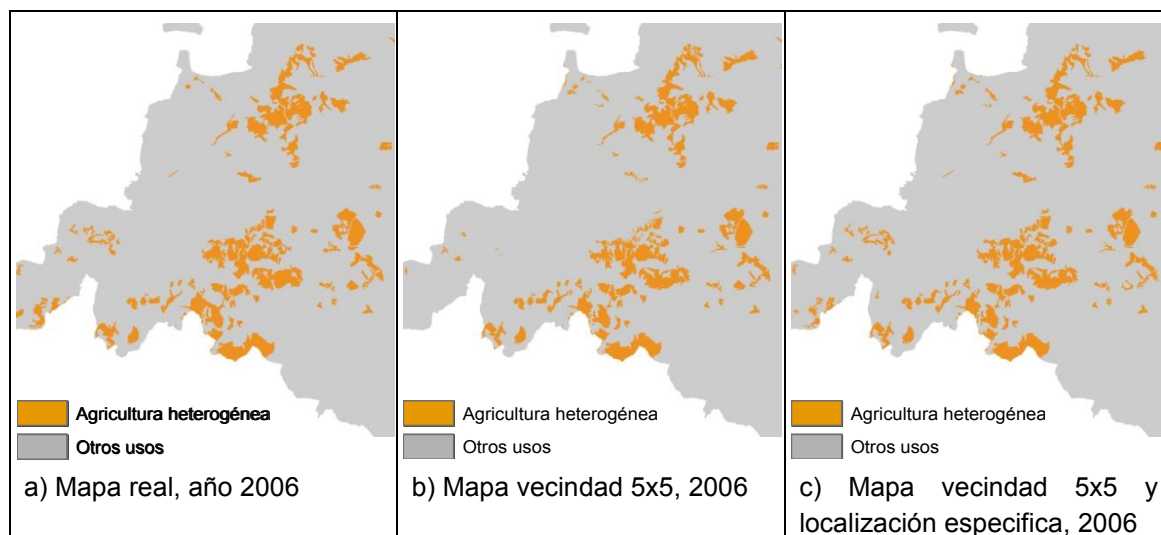


Figura 6-12. Ejemplo, en detalle, de la calibración realizada en CLUE para el uso del suelo Agricultura heterogénea, comparando el mapa real del año 2006 (a) con dos mapas simulados de manera tendencial al año 2006 (b y c).

Una buena calibración implica no solo la obtención de resultados más ajustados a la realidad, sino también resultados más coherentes en los mapas de futuro que se realizan. Como ejemplo de ello, se muestra, en la figura 6-13, un ejemplo comparando uno de los primeros modelos realizados, corrido al año 2025, y el modelo que se ha detallado anteriormente (Mapa con vecindad 5x5 y localización específica) corrido también a dicho año.

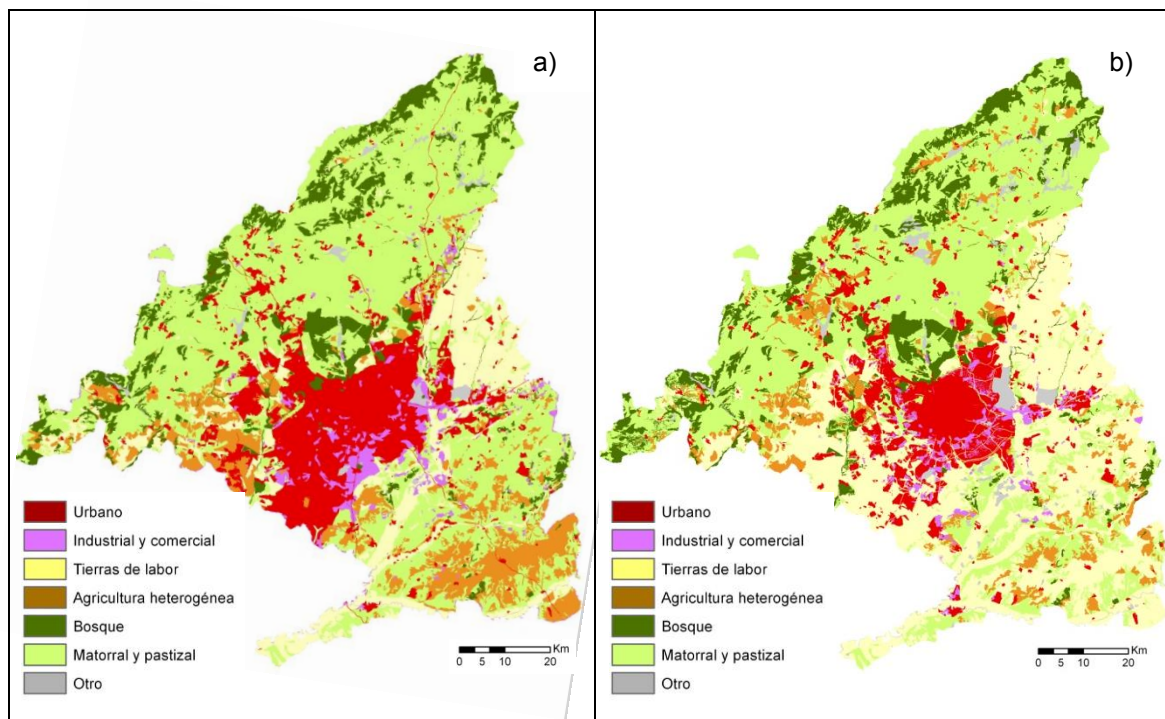


Figura 6-13. Escenarios de trayectoria lineal realizados en CLUE al año 2025. a) uno de los primeros intentos que fueron realizados; b) uno de los últimos mapas realizados.

De lo observado en la figura 6-13 puede desentrañarse la necesidad de llevar a cabo una calibración exhaustiva de los modelos ya que, de lo contrario, pueden obtenerse resultados totalmente incoherentes como el que muestra el caso a) donde, por ejemplo, el uso del suelo urbano es simulado como una gran mancha que fluye hacia el sur de la región o donde, prácticamente la totalidad de la agricultura heterogénea, se localiza en la parte más suroriental de la región.

Hay que señalar que los resultados obtenidos muestran que el mapa de localización específica o de incentivos utilizado para el uso urbano, está influyendo notablemente en la localización de nuevos usos urbanos en las lindes sureste y sur de la metrópoli, ya que es aquí, precisamente, donde dicho mapa localiza las mayores preferencias; esto ocasiona que la comparación del mapa real año 06 y del mapa simulado del 06 sea bastante diferente para este uso en particular. Se ha considerado importante, sin embargo, incluirlo ya que dichos incentivos han sido extraídos del mapa de clasificación y calificación del suelo, el cual determina, fundamentalmente, dónde se puede construir a corto plazo, considerando que el escenario a futuro será más verosímil si se incluye dicha información.

Una vez obtenida la mejor calibración posible proporcionando unos resultados ajustados y coherentes, el modelo puede llevarse a cabo y puede correrse hasta el año 2025.

6.3.4 Validación de los modelos.

Como se ha comentado en apartados anteriores, no existe un acuerdo común entre expertos acerca de qué técnica o técnicas utilizar y cómo llevar a cabo la validación de escenarios futuros de usos del suelo; tampoco existe un acuerdo sobre qué resultados se consideran correctos o aceptables. Es por ello, que los mapas de simulaciones a futuro finales han sido validados mediante la aplicación de diferentes métodos, con el objetivo de alcanzar un resultado más detallado de su precisión.

Se muestran aquí los resultados obtenidos al comparar el mapa real de usos del suelo del año 2006 con los mapas finales que se han obtenido al simular tendencialmente, desde el año 1990 hasta el año 2006, mediante los modelos CLUE y LCM. Únicamente en la tabla 6-13 se muestran los resultados obtenidos para los escenarios de recesión económica y verde.

Los mapas simulados se comparan con los resultados obtenidos de un *Null Model* y de un *Random Model*; éste último se corresponde con un mapa simulado al azar al año 2006, al que no se le ha dado ninguna restricción o incentivo.

Los valores estadísticos de Kappa (junto con K Location y K Histogram), Fuzzy Kappa y K Simulation (junto con K TransLoc y K Transition) se muestran en la tabla 6-13, tanto para los modelos *null model* y *random model* como para los obtenidos en el escenario de trayectoria lineal realizado con CLUE y con LCM y los obtenidos en los escenarios de recesión económica y verde. El valor de Fuzzy Kappa se ha obtenido utilizando una vecindad de 4 píxeles. K Location y K TransLoc miden la precisión en la localización de los usos, mientras que K Histogram y K Transition miden la precisión en cuanto a la cantidad.

	Null model	Random model	T. Lineal CLUE	T. Lineal LCM	Recesión económica	Verde
Kappa	0,879	0,397	0,868	0,892	0,868	0,876
K Location	0,951	0,399	0,869	0,927	0,869	0,878
K Histogram	0,925	0,994	0,998	0,962	0,999	0,999
Fuzzy Kappa	0,749	-0,293	0,731	0,779	0,731	0,752
K Simulation	0,000	0,077	0,330	0,568	0,339	0,359
K TransLoc	n.a.	0,300	0,408	0,691	0,413	0,463
K Transition	0,000	0,257	0,809	0,822	0,821	0,775

Tabla 6-13. Valores globales de los índices Kappa, K Location, K Histogram, Fuzzy Kappa, K Simulation, K TransLoc y K Transition de los modelos *null model* y *random model* y de los escenarios de trayectoria lineal (CLUE y LCM), recesión económica y verde.

Como puede observarse, los valores más bajos son alcanzados por el *random model*, el cual no supera en ninguno de los casos el 0,399 (salvo en el caso de K Histogram donde se logra un valor de 0,994, debido a que se utiliza la demanda real del año 2006 para simular dicho modelo). Los valores más altos los alcanza el modelo realizado con LCM. Los modelos realizados con CLUE registran valores muy similares al *null model* en la mayoría de los estadísticos mostrados, alcanzando los valores más altos en el escenario verde, salvo en el estadístico K Transition cuyo valor más alto es alcanzado por el escenario de recesión.

Los escenarios han sido comparados también con el objetivo de desentrañar dónde están fallando los modelos y qué están prediciendo correctamente. La tabla 6-14 y las figuras 6-14 a 6-19 muestran, para los escenarios de trayectoria lineal realizados con CLUE y LCM, el porcentaje y la localización, respectivamente, de las áreas en las que hubo cambio y se ha predicho dicho cambio (*hits*), donde hubo cambio pero no se ha predicho dicho cambio (*misses*) y donde no hubo cambio y, sin embargo, se ha predicho cambio (*false alarms*) para cada uno de los usos del suelo estudiados. Hay que tener en cuenta que existe una probabilidad mayor de que la ocupación cambie, de lo que realmente cambia, por lo que el número de aciertos no suele alcanzar valores altos.

Los porcentajes expuestos en la tabla 6-14 muestran qué usos son los que se están prediciendo mejor, tanto en CLUE como en LCM. Los valores de *hits* o aciertos para cada uno de los usos del suelo coinciden, además, con el grado de precisión que se obtiene al realizar la figura de mérito (*figure of merit*) desarrollada por Pontius et al. (2008). Los *hits* mostrados son altos porque el análisis tiene en cuenta la persistencia. Los usos Bosque, y Matorral y pastizal son los que alcanzan el porcentaje de acierto más alto en CLUE, mientras que en LCM estos usos se corresponden con el Matorral y pastizal y la Agricultura heterogénea. La peor predicción es la generada para el uso Industrial y comercial, especialmente en CLUE, donde el porcentaje de acierto es considerablemente bajo.

Usos del suelo	Hits	Misses	False Alarms	Total
Urbano	60,33	19,77	19,90	100
	<i>65,52</i>	<i>10,43</i>	<i>24,06</i>	<i>100</i>
Industrial y comercial	34,77	32,47	32,76	100
	<i>55,75</i>	<i>9,00</i>	<i>35,25</i>	<i>100</i>
Tierras de labor	83,09	8,37	8,54	100
	<i>86,43</i>	<i>10,97</i>	<i>2,60</i>	<i>100</i>
Agricultura heterogénea	83,74	8,65	7,62	100
	<i>90,01</i>	<i>5,83</i>	<i>4,16</i>	<i>100</i>
Bosque	89,34	5,11	5,56	100
	<i>86,93</i>	<i>6,90</i>	<i>6,18</i>	<i>100</i>
Matorral y pastizal	89,02	5,56	5,42	100
	<i>91,02</i>	<i>4,34</i>	<i>4,65</i>	<i>100</i>

Tabla 6-14. *Hits* (aciertos), *misses* (omisión) y *false alarms* (comisión) en los diferentes usos del suelo, al comparar el mapa real del 2006 con el mapa de trayectoria lineal simulado por CLUE a 2006 (negrita) y con el mapa simulado por LCM (cursiva), en porcentajes.

Puede observarse que LCM tiene más porcentaje de acierto que CLUE en todos los usos del suelo, salvo en el uso Bosque. En cuanto a los *misses*, los valores son más bajos en LCM que en CLUE en los usos Urbano, Industrial y comercial, Agricultura heterogénea y Matorral y pastizal; por el contrario, en *false alarms*, LCM tiene valores más altos que CLUE en los usos Urbano, Industrial y comercial y Bosque.

Es conveniente que los *misses* y *false alarms* tengan valores similares. Una predicción alta de *false alarms* pero baja en *misses* puede provocar, ficticiamente, valores más altos en *Hits*, ya que si se predice más cambio del que se ha experimentado en la realidad, hay mayor probabilidad de acertar.

Las figuras 6-14 a 6-19 detallan la localización de *hits*, *misses* y *false alarms* en ambos modelos para cada uno de los usos del suelo. Las áreas de *hits* están representadas por el color verde, los *misses* por el color rojo y los *false alarms* por el color azul.

Tal y como muestra la figura 6-14, en el uso del suelo urbano, las *false alarms*, representadas en azul, se concentran en su mayoría al sureste de la metrópoli, mostrando en CLUE una mayor dispersión de éstos por el territorio. Los *misses*, en rojo, están repartidos prácticamente por todo el territorio; en el caso de CLUE, muchos de ellos se encuentran en las inmediaciones de pequeñas áreas de *hits*. En general, LCM muestra manchas más compactas que CLUE.

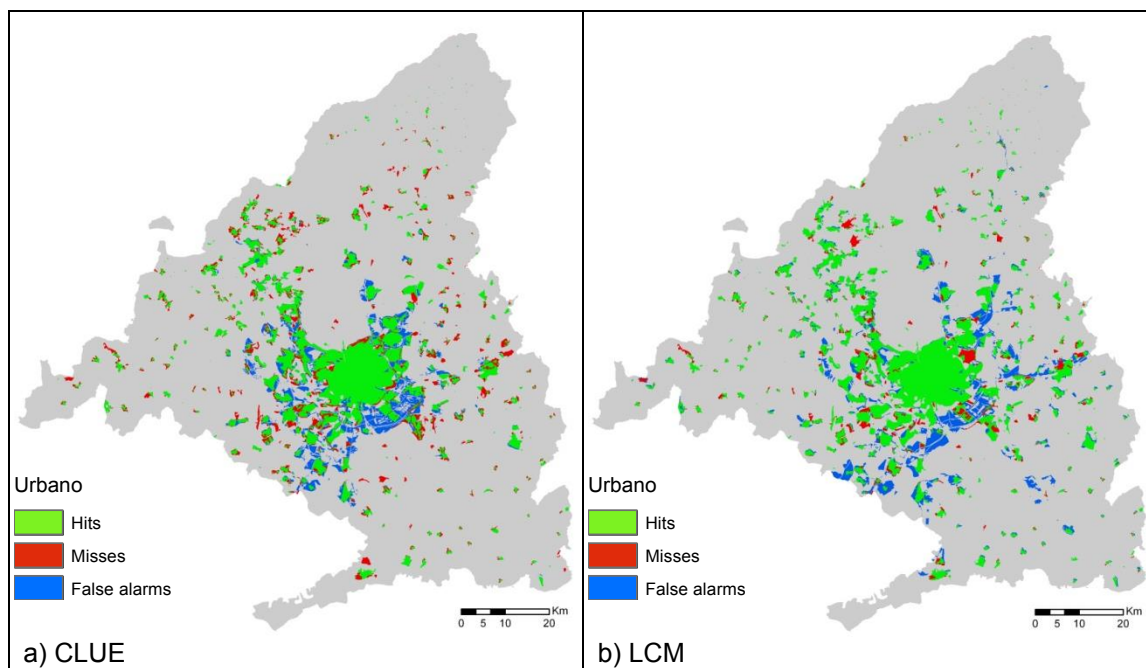


Figura 6-14. Diferencias en la localización del uso del suelo Urbano entre la realidad del año 2006 y los mapas de trayectoria lineal simulados por CLUE (a) y por LCM (b), ambos a 2006, detallando áreas de acierto (en verde, *hits*), áreas de omisión (en rojo, *misses*) y áreas de comisión (en azul, *false alarms*).

El uso Industrial y comercial, como se ha comentado previamente, no se ha conseguido predecir adecuadamente. En la figura 6-15 puede observarse que ambos mapas muestran numerosas áreas de *misses*, especialmente en CLUE, y *false alarms*.

En cuanto a las Tierras de labor (figura 6-16) se registran amplias áreas de *hits*, en verde, en parte debido a que dicho uso del suelo ocupa una gran superficie en la CM. Los *misses* se concentran alrededor de la metrópoli, coincidiendo con las áreas de *false alarms* mostradas en el mapa de usos urbanos (figura 6-14), así como en la parte suroccidental de la región.

Por otra parte, la agricultura heterogénea (figura 6-17) es predicha más adecuadamente en LCM que en CLUE; el primero muestra menos *misses* y *false alarms* que el segundo. Las dos mayores diferencias entre ambos es la extensa área de *misses* que presenta CLUE en la zona norte, y que LCM sí consigue predecir, así como un área, de menor tamaño, cerca de ésta, de *false alarms*.

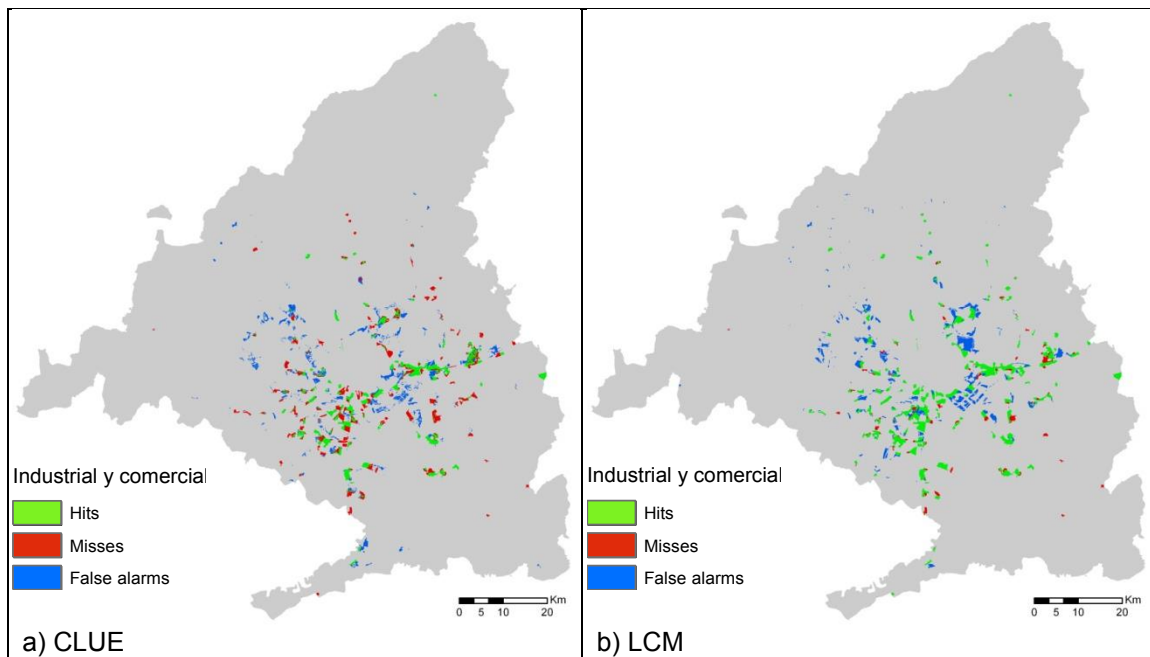


Figura 6-15. Diferencias en la localización del uso del suelo Industrial y comercial entre la realidad del año 2006 y los mapas de trayectoria lineal simulados por CLUE (a) y por LCM (b), ambos a 2006, detallando áreas de acierto (en verde, *hits*), áreas de omisión (en rojo, *misses*) y áreas de comisión (en azul, *false alarms*).

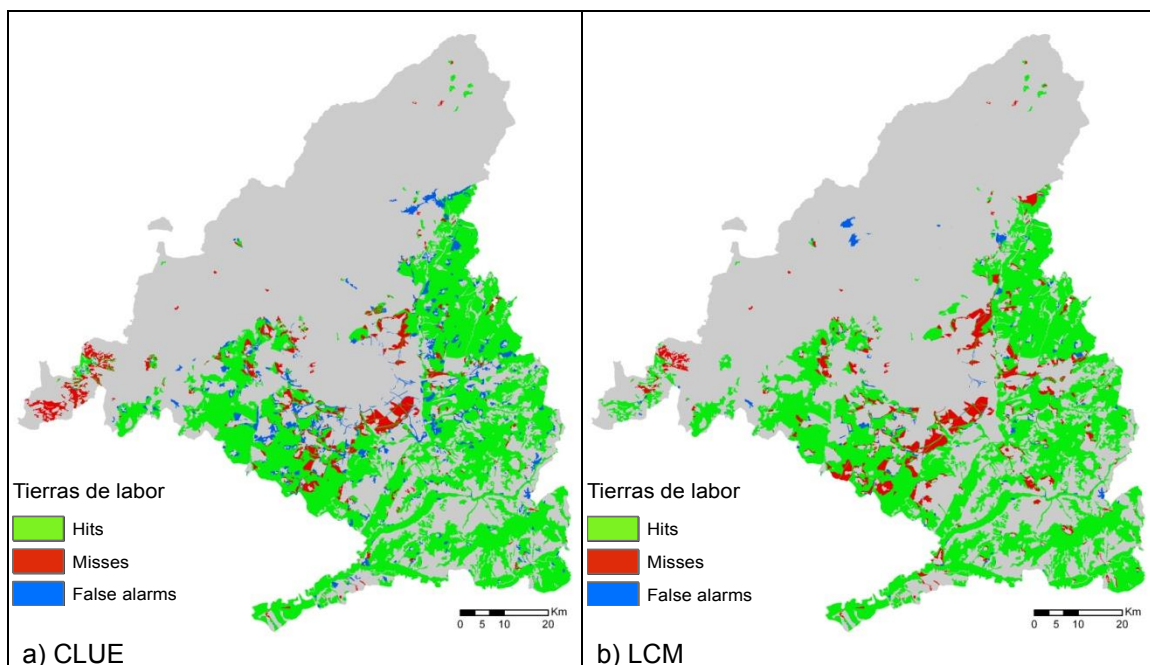


Figura 6-16. Diferencias en la localización de las Tierras de labor entre la realidad del año 2006 y los mapas de trayectoria lineal simulados por CLUE (a) y por LCM (b), ambos a 2006, detallando áreas de acierto (en verde, *hits*), áreas de omisión (en rojo, *misses*) y áreas de comisión (en azul, *false alarms*).

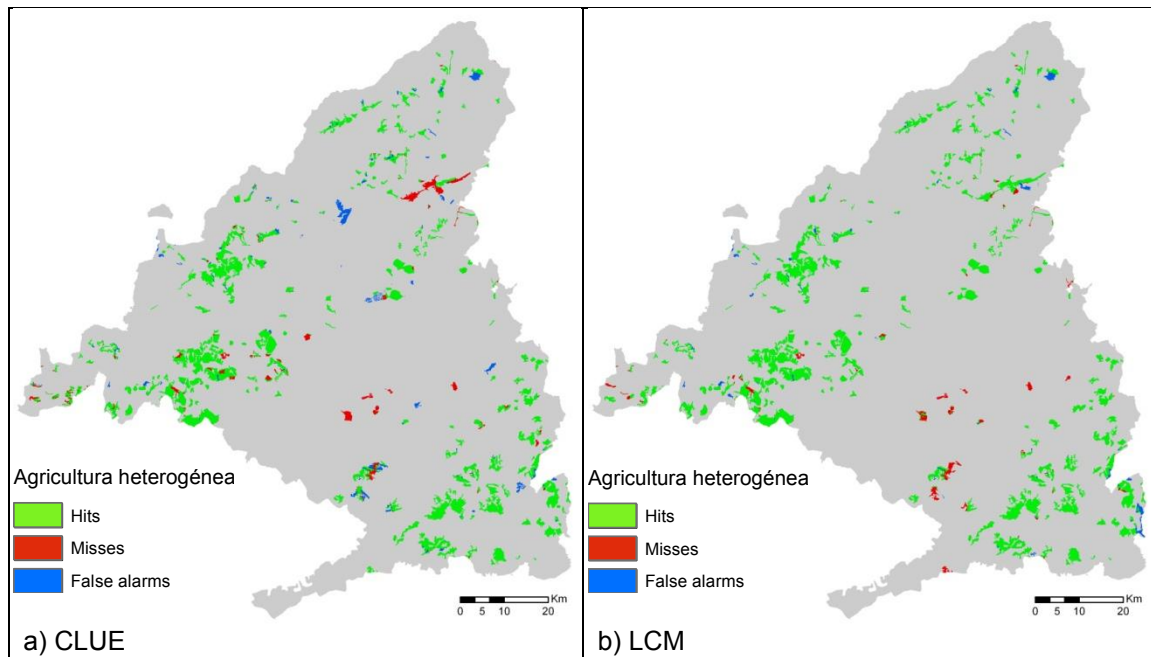


Figura 6-17. Diferencias en la localización del uso del suelo Agricultura heterogénea entre la realidad del año 2006 y los mapas de trayectoria lineal simulados por CLUE (a) y por LCM (b), ambos a 2006, detallando áreas de acierto (en verde, *hits*), áreas de omisión (en rojo, *misses*) y áreas de comisión (en azul, *false alarms*).

En el caso del Bosque (figura 6-18), CLUE acierta más en la predicción que LCM. La principal diferencia entre ambos se detalla en la parte más septentrional de la CM, donde LCM muestra varias manchas en rojo correspondientes a *misses* que no ha conseguido predecir.

Por último, el Matorral y pastizal (figura 6-19), al igual que las Tierras de labor, presenta gran superficie en verde, correspondiente con los *hits*, debido a la extensión que éste ocupa en la región. LCM predice más *false alarms*, en azul, al norte de la región, mientras que éstas se registran en CLUE en la parte más suroccidental. En cuanto a los *misses*, éstos se encuentran distribuidos prácticamente por toda la región, siendo más numerosos en CLUE.

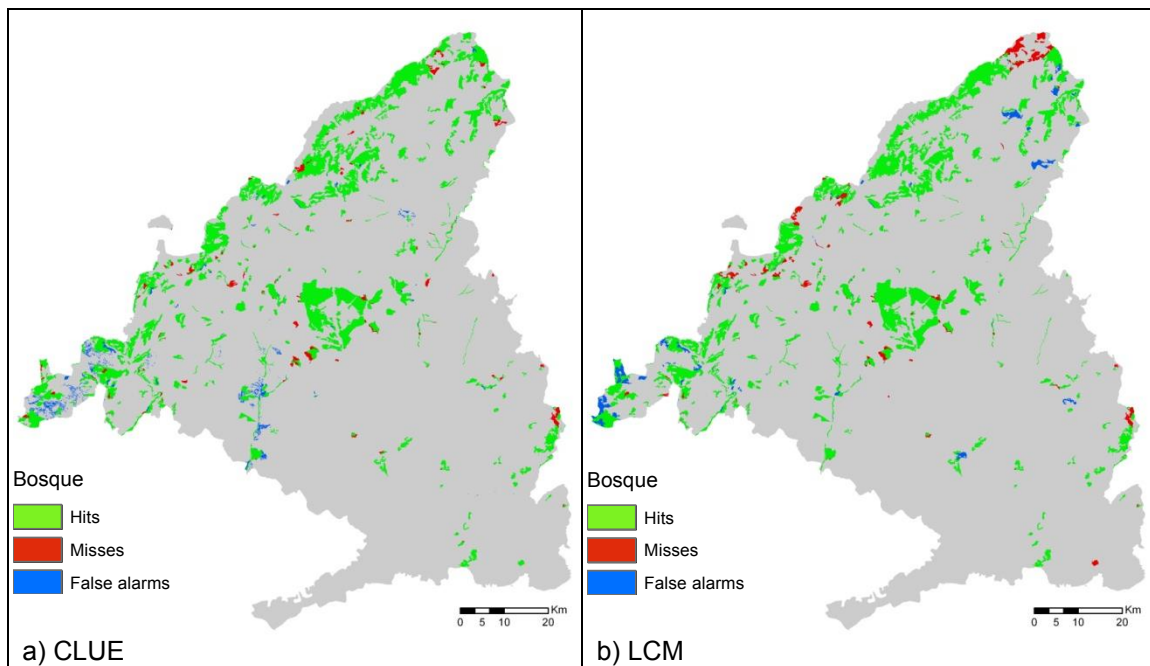


Figura 6-18. Ejemplo de diferencias en la localización del uso del suelo Bosque entre la realidad del año 2006 y los mapas de trayectoria lineal simulados por CLUE (a) y por LCM (b), ambos a 2006, detallando áreas de acierto (en verde, *hits*), áreas de omisión (en rojo, *misses*) y áreas de comisión (en azul, *false alarms*).

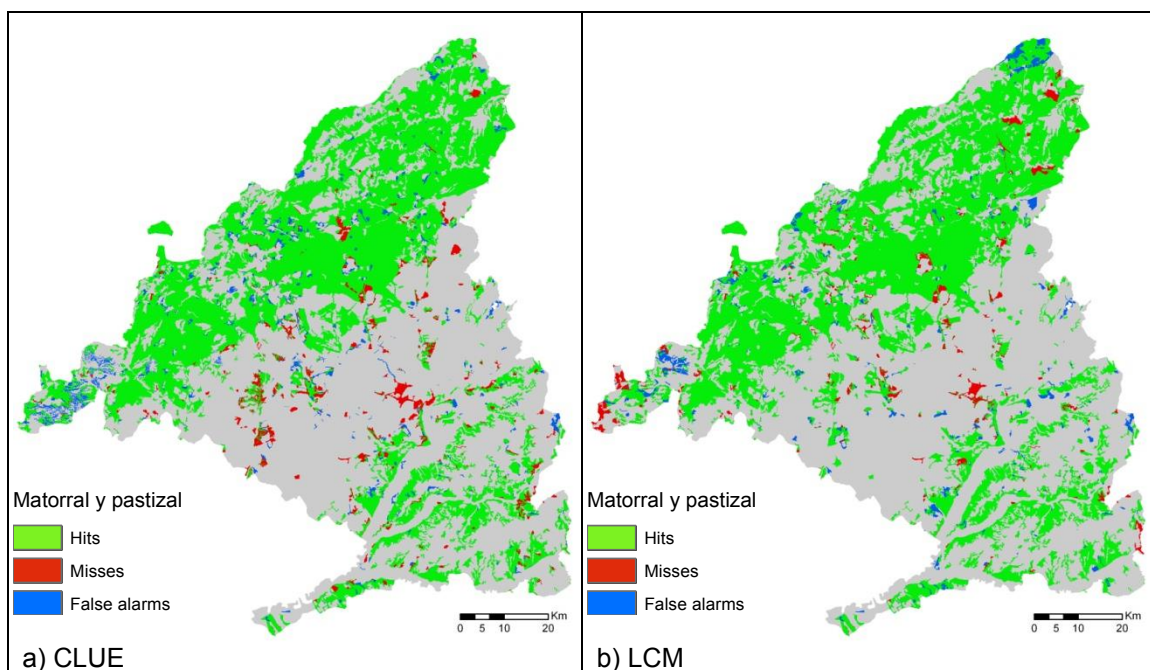


Figura 6-19. Ejemplo de diferencias en la localización del uso del suelo Matorral y pastizal entre la realidad del año 2006 y los mapas de trayectoria lineal simulados por CLUE (a) y por LCM (b), ambos a 2006, detallando áreas de acierto (en verde, *hits*), áreas de omisión (en rojo, *misses*) y áreas de comisión (en azul, *false alarms*).

A continuación, la figura 6-20, muestra la validación realizada para los escenarios de trayectoria lineal utilizando el procedimiento de resolución múltiple desarrollado por Costanza (1989). Ésta se ha llevado a cabo con unos tamaños de paso y de ventana máxima de 4 y 50 km., respectivamente.

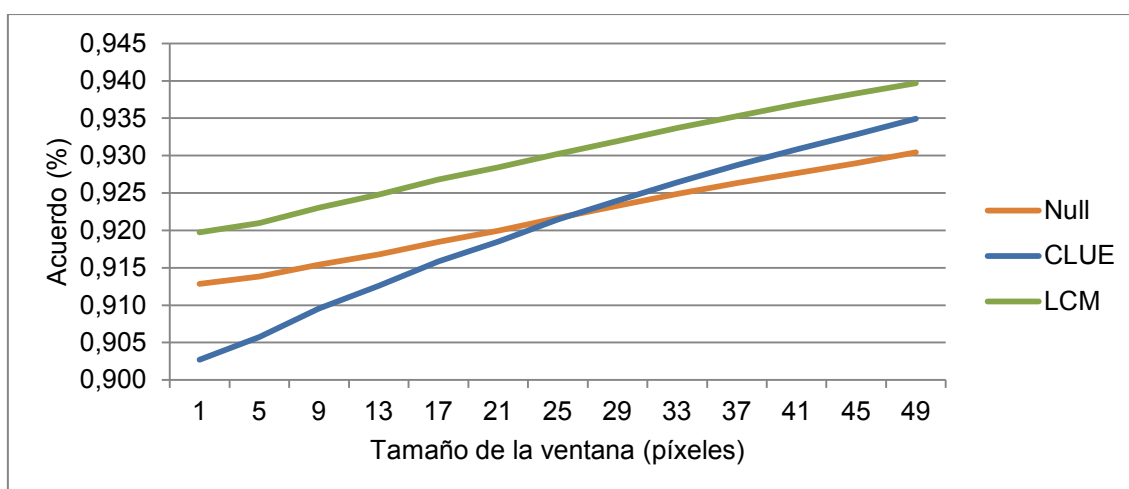


Figura 6-20. Validación, a resolución múltiple, del modelo *null model* y de los escenarios de trayectoria lineal realizados con CLUE y LCM, respectivamente. En el eje horizontal se muestra el tamaño de la ventana y en el eje vertical la precisión obtenida.

En dicha figura, puede observarse que el modelo realizado con LCM supera en todo momento al *null model*. El modelo realizado con CLUE, sin embargo, tiene peor precisión que el *null model* cuando se analiza a nivel de píxel, y empieza a superar a éste a partir de un tamaño de ventana de 25 km.; esto quiere decir que el modelo predictivo no es capaz de predecir correctamente a una resolución de detalle, pero cuanto más grosera es la resolución, la capacidad del modelo con respecto al *null model* aumenta. A partir del tamaño de ventana de 25 km., la diferencia, en cuanto a la precisión, entre los modelos LCM y CLUE también disminuye. El *random model* no se muestra en la figura 6-20 pues se obtuvieron valores comprendidos entre 0,557 y 0,622. Todos los modelos, por tanto, superan en precisión a un modelo realizado por azar.

La tabla 6-15 muestra la precisión que se obtiene de manera exponencial, realizando una media ponderada del ajuste de los valores obtenidos mediante el procedimiento de resolución múltiple. Se observa, también, que el modelo con mayor precisión que se ha generado es el LCM. CLUE tiene valores cercanos al *null model* y, muy por debajo, se encuentra el *random model*.

	Null	Random	CLUE	LCM
FT	0,915	0,573	0,909	0,923

Tabla 6-15. Media ponderada del ajuste de los valores de precisión obtenidos mediante el procedimiento de resolución múltiple, para *null model* y *random model* y para los escenarios de trayectoria lineal realizados con CLUE y LCM.

Por último, se muestra el método de validación de los resultados desarrollado por Pontius y Millones (2011) para determinar el acuerdo y el desacuerdo entre el mapa de la realidad del año 2006 y los mapas de trayectoria lineal simulados al mismo año con CLUE y LCM, respectivamente. También se muestra el grado de comisión, omisión y de acuerdo para cada categoría.

La causa del desacuerdo entre la realidad y los modelos puede observarse en la figura 6-21. El desacuerdo en CLUE se debe casi en su totalidad a errores producidos en la localización, mientras que el acuerdo en la cantidad es prácticamente total; esto se debe a que, en dicho modelo, se introduce previamente el número de hectáreas que deben ser predichas en cada uno de los usos del suelo, por lo que el dato de la realidad de 2006 y el dato simulado por CLUE para el 2006 son prácticamente idénticos. En LCM, sin embargo, hay un porcentaje de desacuerdo causado por la diferencia en la cantidad y un porcentaje de desacuerdo causado por la diferencia en la localización, si bien, el primero es menor que el segundo. En cualquier caso, el desacuerdo en cuanto a la localización en CLUE supera el desacuerdo causado conjuntamente por la localización y por la cantidad en LCM.

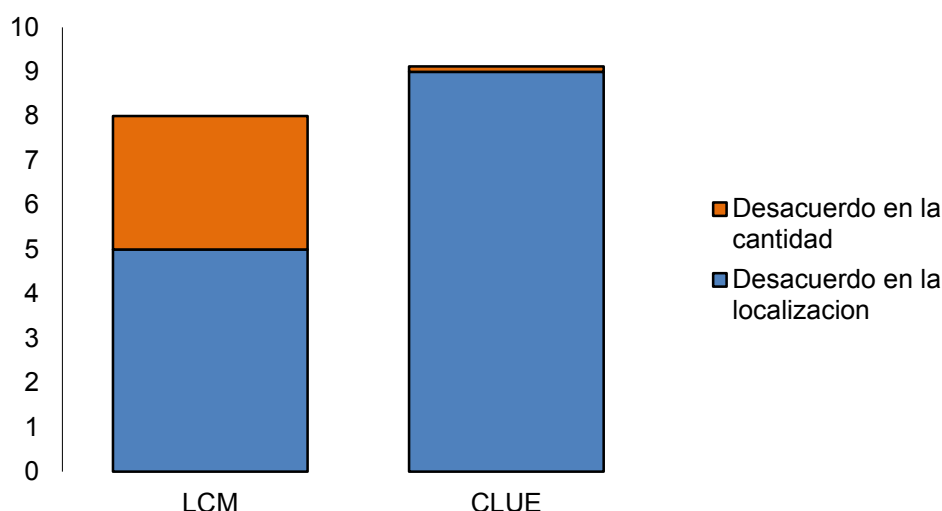


Figura 6-21. Desacuerdo referido a la cantidad y desacuerdo referido a la localización entre el mapa de la realidad y los mapas de trayectoria lineal simulados en CLUE y en LCM, en porcentajes con respecto al total del territorio.

En las figuras 6-22 y 6-23 se detalla el grado de acuerdo y el grado de desacuerdo, para cada uno de los uso del suelo, obtenidos en los escenarios de trayectoria lineal con CLUE y LCM, respectivamente. Están referidos a la extensión que ocupan dichas categorías sobre el territorio; es por ello que, por ejemplo, en los dos modelos, el matorral y pastizal y las tierras de labor, son las que mayores acuerdos tienen, en porcentaje sobre el total, porque son las categorías que más extensión ocupan en la CM. La categoría Otros, al mantenerse estable, es la única que solo posee acuerdo. El resto de categorías muestran desacuerdos de comisión (es decir, cuando simula cambio pero en

realidad se ha registrado persistencia) y de omisión (cuando ha habido cambio pero el modelo predice persistencia). Las categorías que más tienden a cambiar son las que también más desacuerdos registran.

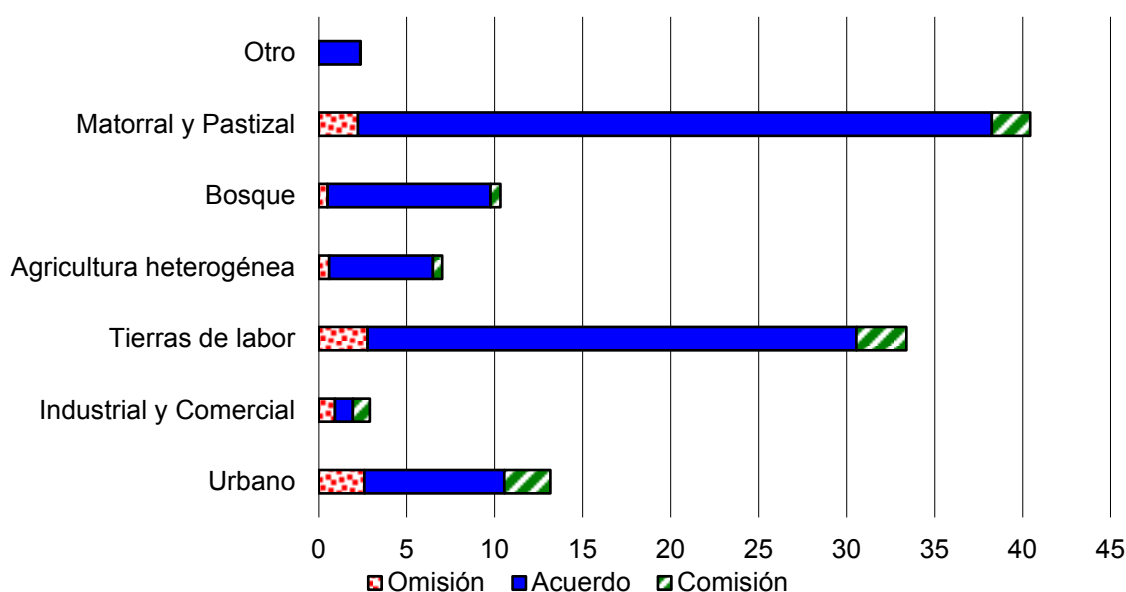


Figura 6-22. Acuerdo y errores de comisión y omisión entre el mapa de la realidad y el mapa de trayectoria lineal simulado en CLUE, según el porcentaje que ocupa cada categoría con respecto al área total de estudio.

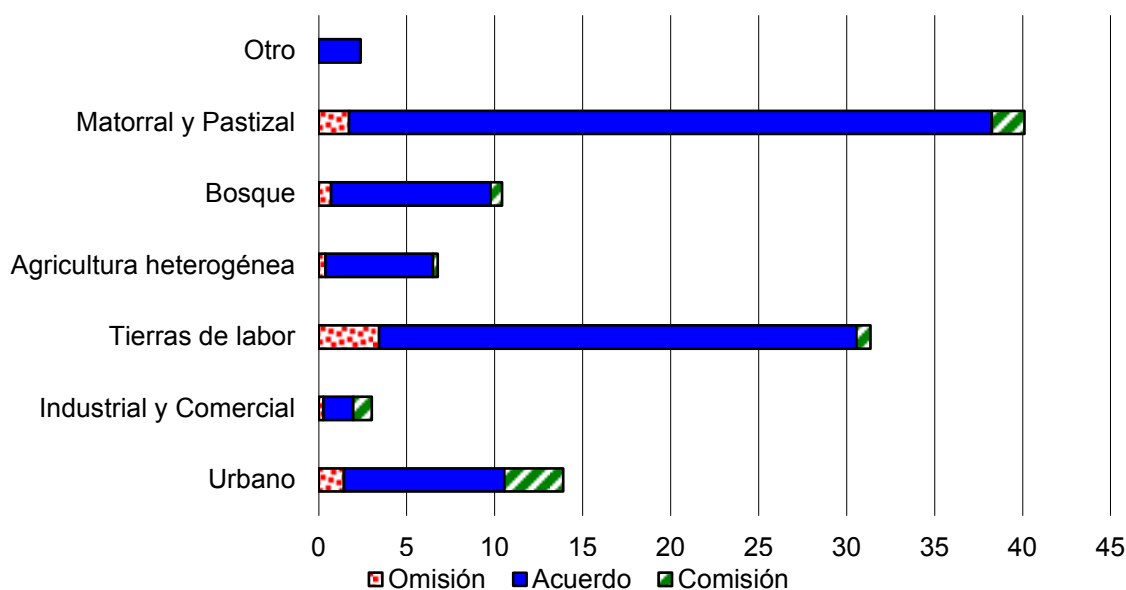


Figura 6-23. Acuerdo y errores de comisión y omisión entre el mapa de la realidad y el mapa de trayectoria lineal simulado en LCM, según el porcentaje que ocupa cada categoría con respecto al área total de estudio.

Los valores de omisión y comisión para cada categoría en el modelo CLUE son más o menos equivalentes entre sí, mientras que en LCM hay usos del suelo que tienen más omisión que comisión proporcionalmente (como pueden ser las tierras de labor) y más comisión que omisión (el uso urbano o el industrial y

comercial). En ambos modelos, las categorías Bosque y Agricultura heterogénea son las que poseen menos errores de omisión y comisión.

De los análisis llevados a cabo para la determinación de la validación de los modelos realizados con CLUE y LCM, puede concretarse que ambos modelos alcanzan valores de errores tolerables, siendo el modelo realizado con LCM el que consigue ejecutar una predicción más ajustada.

6.3.5 Escenarios finales

Se presenta en este apartado los resultados de los cuatro escenarios elaborados para el año 2025: a) el escenario de trayectoria lineal realizado con CLUE; b) el escenario de trayectoria lineal realizado con LCM; c) el escenario de recesión económica; y d) el escenario verde, estos dos últimos realizados únicamente con CLUE.

Todos los usos del suelo han experimentado cambio, salvo la categoría “otros”, la cual fue definida para que se mantuviese estable.

6.3.5.1 Escenario de trayectoria lineal

El escenario de trayectoria lineal es un escenario tendencial que ha sido realizado proyectando los datos de 1990, 2000 y 2006 (en el caso de CLUE) y de 1990 y 2006 (en el caso de LCM) al año 2025.

Para el uso urbano se ha estimado un crecimiento del uso urbano y del uso industrial y comercial, con respecto del año 2006, de 33,23% y 36,23% en CLUE y del 32,00% y 33,59% en LCM, respectivamente. Por otra parte, se ha estimado un decrecimiento de las tierras de labor de -11,77% y -9,35% para cada uno de los modelos; éste es el uso del suelo que más decrece en cuanto a su superficie. La agricultura heterogénea y el bosque, puede decirse que, se mantienen prácticamente estables, ya que se les ha dado valores de 0,01% en CLUE y -0,87% en LCM, para el primero, y de 0,82% y 0,72%, para el segundo. Por último, el matorral y pastizal decrece muy levemente, con porcentajes correspondientes a -1,43% en CLUE y -2,76% en LCM.

La principal discrepancia en los valores de crecimiento y decrecimiento de ambos modelos se debe a la diferencia en la obtención de las tasas de demanda. En CLUE la demanda se otorga manualmente, indicando a cada uso del suelo el número de píxeles o de hectáreas que contendrá. En LCM, sin embargo, ésta viene determinada por una matriz de transición, la cual, indica el porcentaje de cambio de cada uno de los usos del suelo hacia las otras categorías de usos del suelo.

La localización de usos del suelo obtenidos para el año 2025 con el modelo CLUE y con el modelo LCM se encuentra detallada en las figuras 6-24 y 6-25, respectivamente.

En ellas se puede observar la gran artificialización que experimentaría la CM en el caso de continuar con la trayectoria registrada en los años pasados, debido a un amplio crecimiento del uso urbano y del uso industrial y comercial. El uso urbano se extendería, de forma compacta, en los alrededores de la metrópoli, especialmente hacia el sur y sureste, y siguiendo las principales vías de transporte; asimismo, registraría un crecimiento de tipo disperso en las zonas de la Sierra, en torno a Torrelodones y Collado Villalba; ejemplos de localidades que experimentarían una gran expansión serían Tres Cantos, Valdemoro, Villanueva de la Cañada o Aranjuez.

El uso industrial y comercial se extendería hacia el sur y sureste de la metrópoli, así como en torno a la autopista A-2. Ambas categorías ganarían terreno a costa de las tierras de labor, que perderían superficie también debido a su conversión en matorral y pastizal, especialmente en la zona suroccidental de la región.

Los bosques conseguirían permanecer prácticamente estables.

Las diferencias y similitudes obtenidas entre los escenarios creados con CLUE y con LCM se muestran en el apartado 6.3.6.

LCM permite, además, obtener un mapa de vulnerabilidad, el cual es una evaluación exhaustiva del potencial de cambio. La figura 6-26 muestra dicho mapa, en el que se puede observar las áreas que poseen mayor o menor probabilidad de cambiar de uso del suelo hasta el año 2025, bajo un escenario tendencial, como se ha comentado anteriormente. Dicho mapa no indica qué es lo que va a cambiar, sino el grado que tiene cada área para precipitar un cambio.

Así, se observa que las áreas de mayor probabilidad de cambio se concentran en torno a la metrópoli de Madrid y en torno a las principales vías de transporte, especialmente junto a las autopistas A-1, A-2, A-3 y A-6. Asimismo, aparecen áreas más alejadas con grandes probabilidades de cambio como son los alrededores de Aranjuez, San Martín de Valdeiglesias, Villa del Prado, Collado Villalba, Navacerrada, así como en la parte más septentrional de la región, ésta última, asociada, muy posiblemente, a cambios de usos naturales.

MAPA DIN-A3

(ver Carpeta “Mapas”)

Figura 6-24. Localización de usos del suelo obtenida en el escenario de trayectoria lineal para el año 2025 con el modelo CLUE

MAPA DIN-A3

(ver Carpeta “Mapas”)

Figura 6-25. Localización de usos del suelo obtenida en el escenario de trayectoria lineal para el año 2025 con el modelo LCM

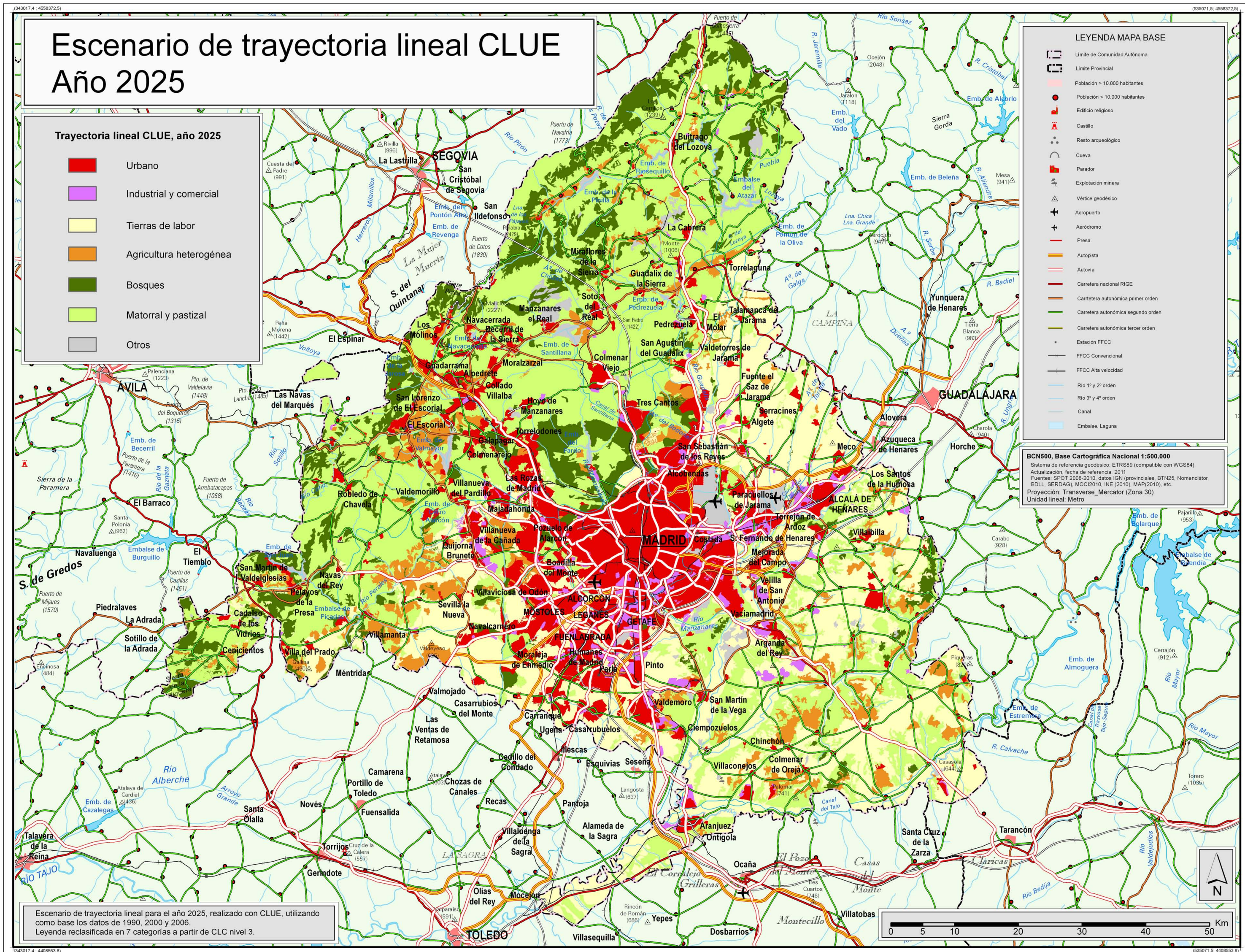


Figura 6-24. Localización de usos del suelo obtenida en el escenario de trayectoria lineal para el año 2025 realizado con CLUE.

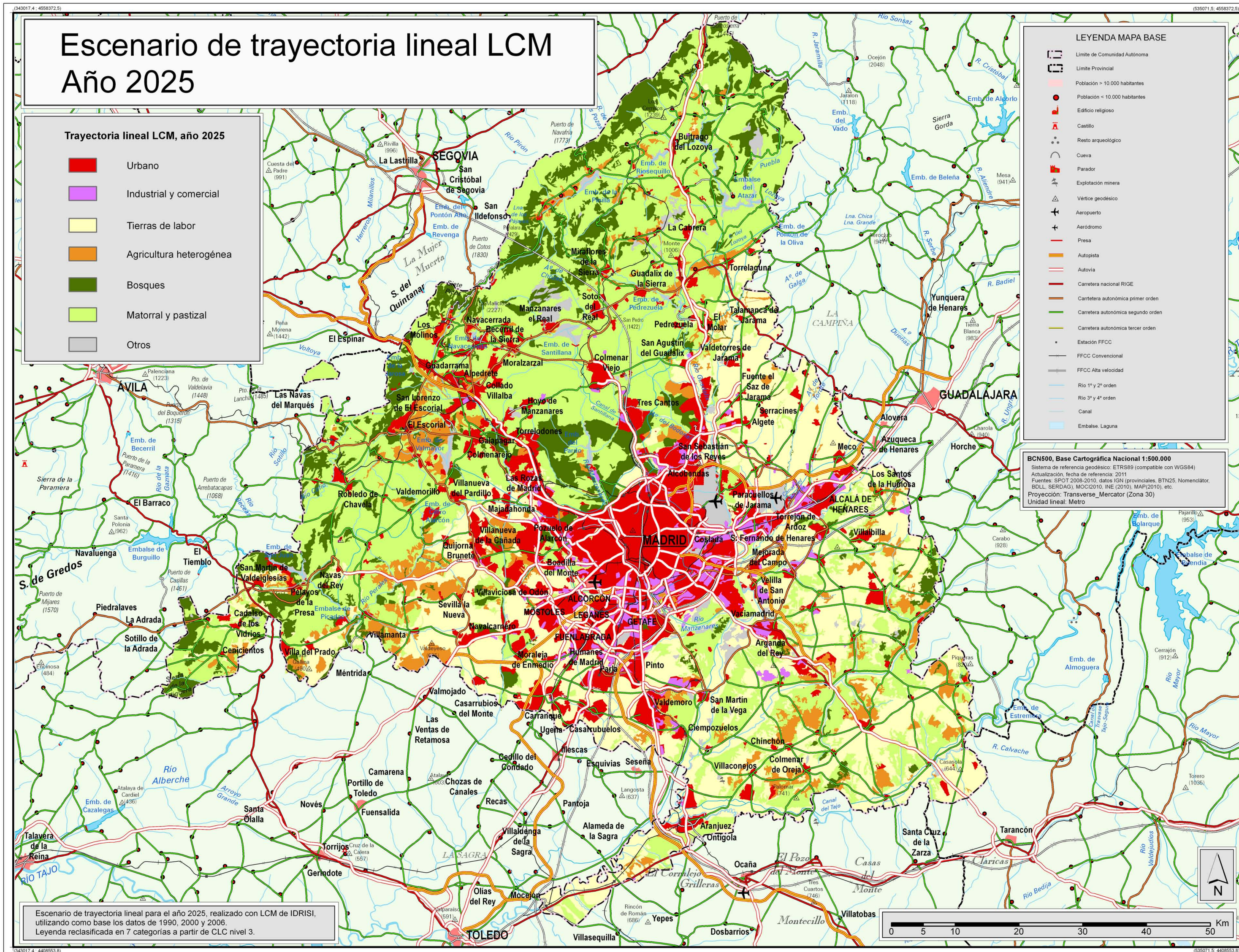


Figura 6-25. Localización de usos del suelo obtenida en el escenario de trayectoria lineal para el año 2025 realizado con LCM.

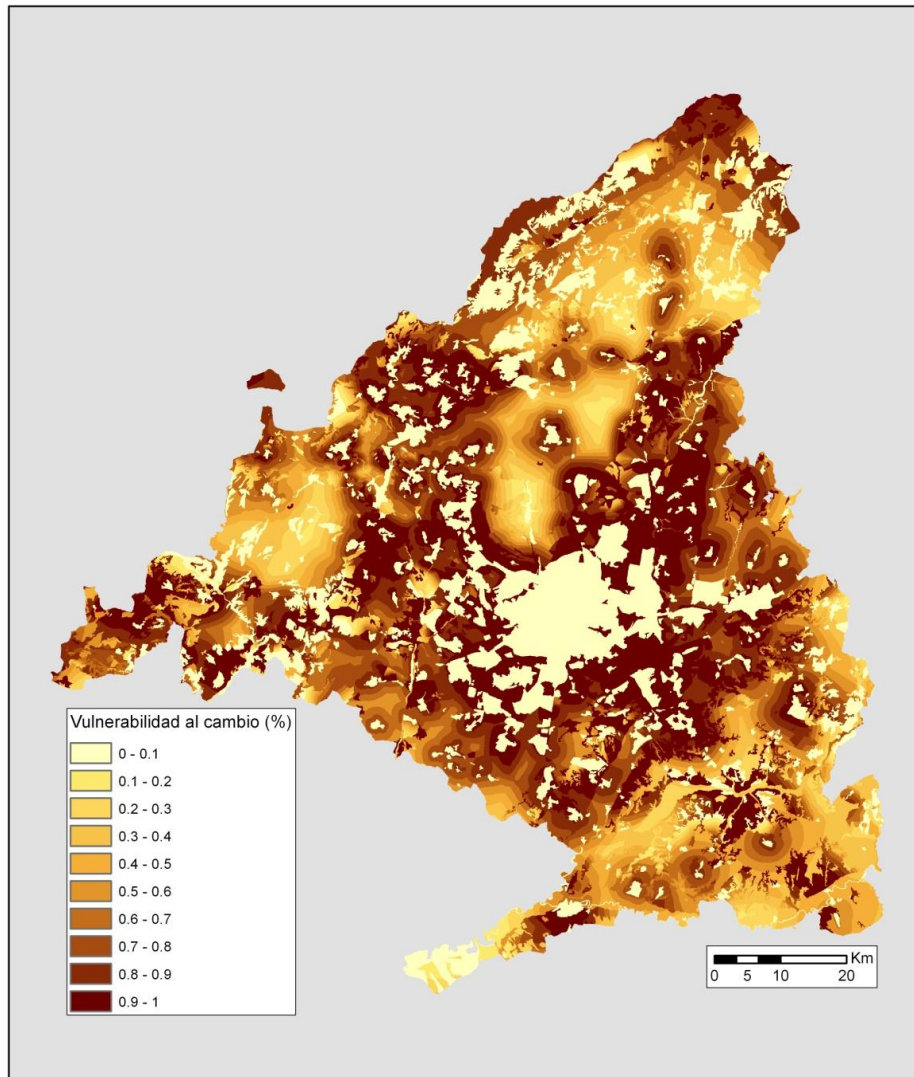


Figura 6-26. Mapa de vulnerabilidad al cambio, en porcentaje, obtenido en LCM.

6.3.5.2 Escenario de recesión económica

En el escenario de recesión económica, se han estimado los siguientes crecimientos o decrecimientos con respecto al año 2006 para cada uno de los usos del suelo: a) Uso urbano, + 5,52%; b) Uso industrial y comercial, + 6,45%; c) Tierras de labor, -1,18%; d) Agricultura heterogénea, -2,80%; e) Bosque, -0,80%; y f) Matorral y pastizal, -0,23%. Estos valores han sido extraídos de los resultados ofrecidos por las encuestas realizadas a expertos, comentadas en el apartado de metodología de este capítulo.

Se observa un crecimiento de los usos artificiales mucho más moderado que en el anterior escenario (su desarrollo supondría casi 6 veces menos). El resto de usos se mantendrían prácticamente estables, principalmente el bosque y el matorral, los cuales experimentarían un descenso imperceptible. Los usos agrícolas mostrarían también un ligero descenso, especialmente comparándolo

con la pérdida que estos usos registran en el escenario tendencial; dicho descenso sería mayor en la categoría de agricultura heterogénea que en las tierras de labor.

En la figura 6-27 se detalla la representación espacial de dicho escenario para el año 2025. El crecimiento artificial se registraría al sureste de la metrópoli extendiéndose la gran mancha urbana de forma compacta, especialmente alrededor de las radiales M-45 y M-50. Los usos agrícolas descenderían de manera dispersa en la zona más suroccidental de la región, en torno a Cenicientos, Cadalso de los Vidrios y San Martín de Valdeiglesias.

6.3.5.3 Escenario verde

El último escenario realizado es el llamado escenario verde. Dicho escenario pretende ser una combinación de los dos escenarios trabajados anteriormente, el de trayectoria lineal y el de recesión económica, otorgándole, a su vez, una mayor protección y relevancia a los usos naturales. Así, se han estimado los siguientes crecimientos o decrecimientos con respecto al año 2006: a) Uso urbano, + 16,66%; b) Uso industrial y comercial, +18,55%; c) Tierras de labor, - 11,69%; d) Agricultura heterogénea, +0,51%; e) Bosque, +13,72%; y f) Matorral y pastizal, +0,19%.

Los usos artificiales se reducirían a la mitad con respecto a los dos escenarios tendenciales elaborados. Los usos agrícolas registrarían prácticamente los mismos valores que éstos, reduciéndose levemente el decrecimiento de las tierras de labor, y aumentando, también de manera leve, el crecimiento de la agricultura heterogénea. El matorral y pastizal que, en todos los escenarios realizados con anterioridad, registraba pérdidas, mostraría aquí valores de crecimiento, si bien, cercanos a la estabilidad. El uso que más contraste manifestaría sería el bosque, que experimentaría un crecimiento considerable.

La figura 6-28 muestra dicho escenario para el año 2025. Puede observarse que el crecimiento urbano se concentraría, con más intensidad, en el linde sureste de la metrópoli, especialmente en torno a la M-45 y M-50; este uso aumentaría también, de forma más tenue, al sur y en el contorno de las autopistas A-2, A-1 y A-6, así como en los alrededores de Villanueva de la Cañada. El uso industrial y comercial crecería, principalmente, junto a la A-2 y cercano a Valdemoro y Aranjuez. El bosque y, en menor medida, el matorral y pastizal, tendería a ocupar lo que antes eran tierras de labor; éste crecimiento se localizaría, fundamentalmente, en la parte más suroccidental de la región, así como en el área comprendida entre Las Rozas y Villanueva del Pardillo; también crecería, de forma dispersa, al sur de Valdetorres de Jarama, próximo al río Guadalix, y al sur y sureste de San Martín de la Vega, Arganda del Rey y Villalbilla.

MAPA DIN-A3

(ver Carpeta “Mapas”)

Figura 6-27. Localización de usos del suelo obtenida en el escenario recesión económica para el año 2025 con el modelo CLUE

MAPA DIN-A3

(ver Carpeta “Mapas”)

Figura 6-28. Localización de usos del suelo obtenida en el escenario verde para el año 2025 con el modelo CLUE.

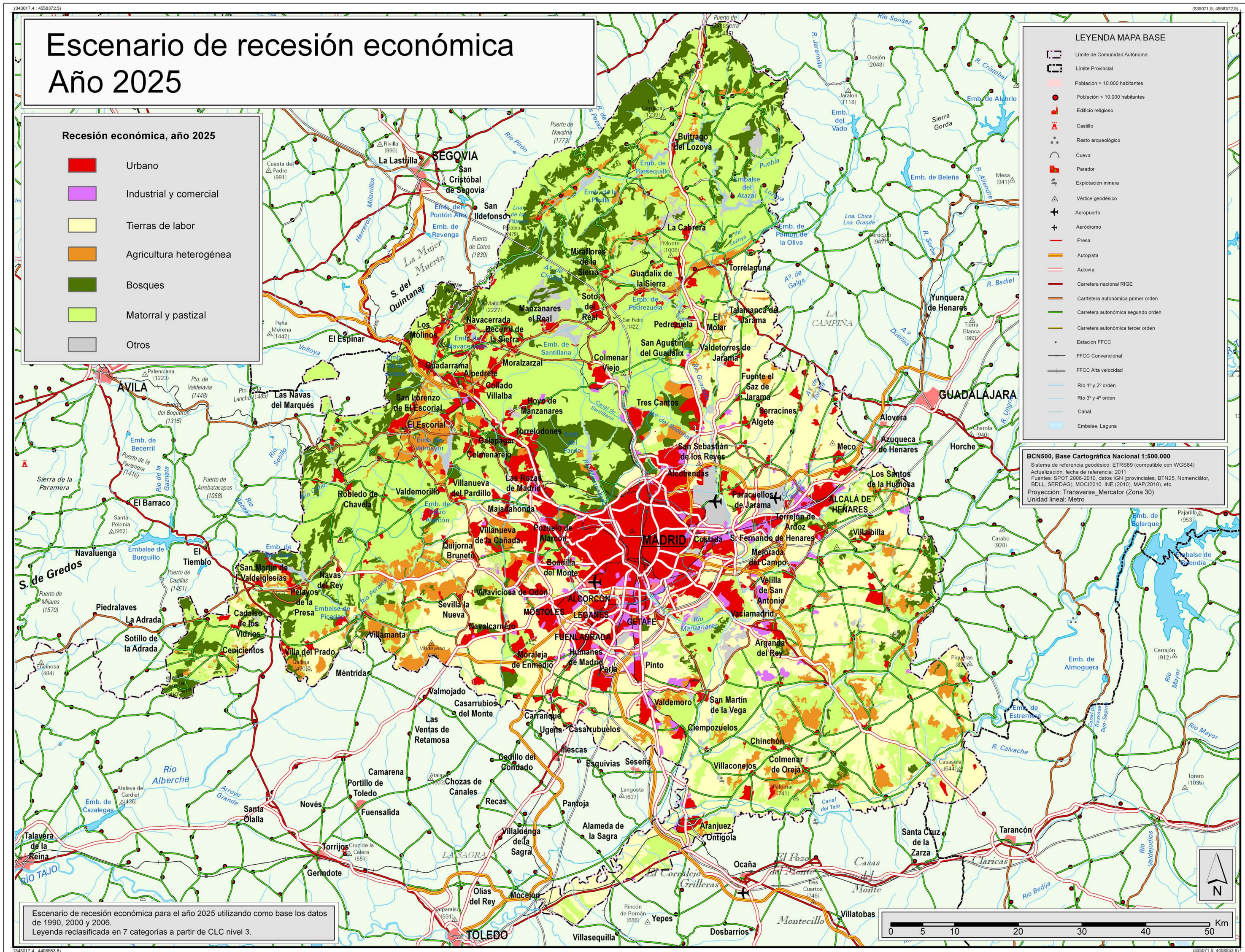


Figura 6-27. Localización de usos del suelo obtenida en el escenario recesión económica para el año 2025 realizado con CLUE.

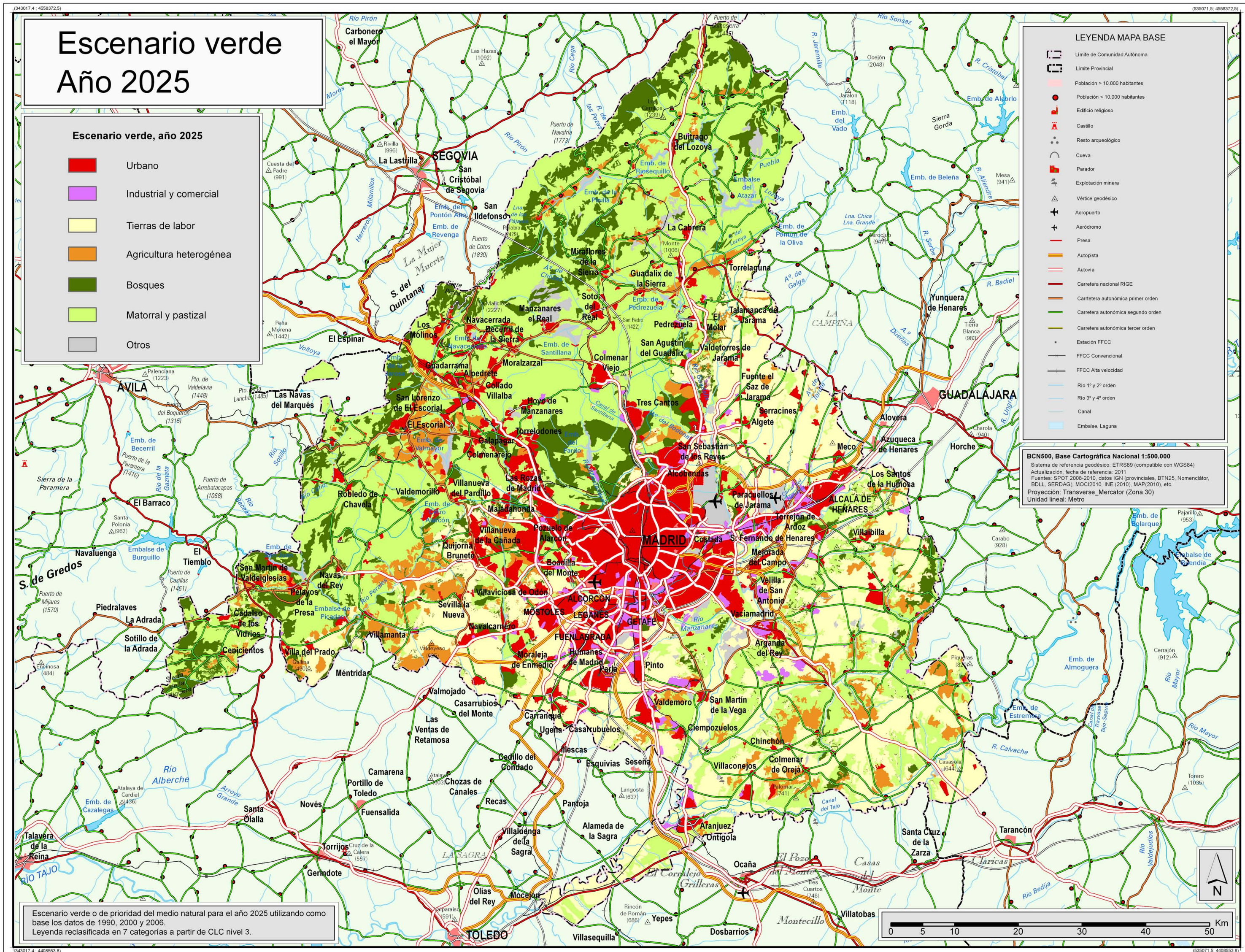


Figura 6-28. Localización de usos del suelo obtenida en el escenario verde para el año 2025 realizado con CLUE.

6.3.6 Comparación de los diferentes escenarios realizados

Para un mayor detalle de los resultados obtenidos en los diferentes escenarios, se han realizado dos tipos de comparaciones: a) una comparación entre el mapa real del año 2006 y los diferentes escenarios, y b) una comparación entre los resultados de los escenarios entre sí.

Se muestra en la figura 6-29 la superficie que ocupa cada uso del suelo, en porcentaje sobre el total, en el año 2006 (mapa de la realidad) y en los cuatro escenarios elaborados para el año 2025. Como puede observarse, los usos del suelo Agricultura heterogénea, Bosque y Matorral y pastizal permanecen más o menos estables y no registran apenas diferencias en cuanto a su extensión con respecto al año 2006. Los mayores crecimientos se producen en las superficies artificiales, mientras que las mayores mermas se producen en las tierras de labor.

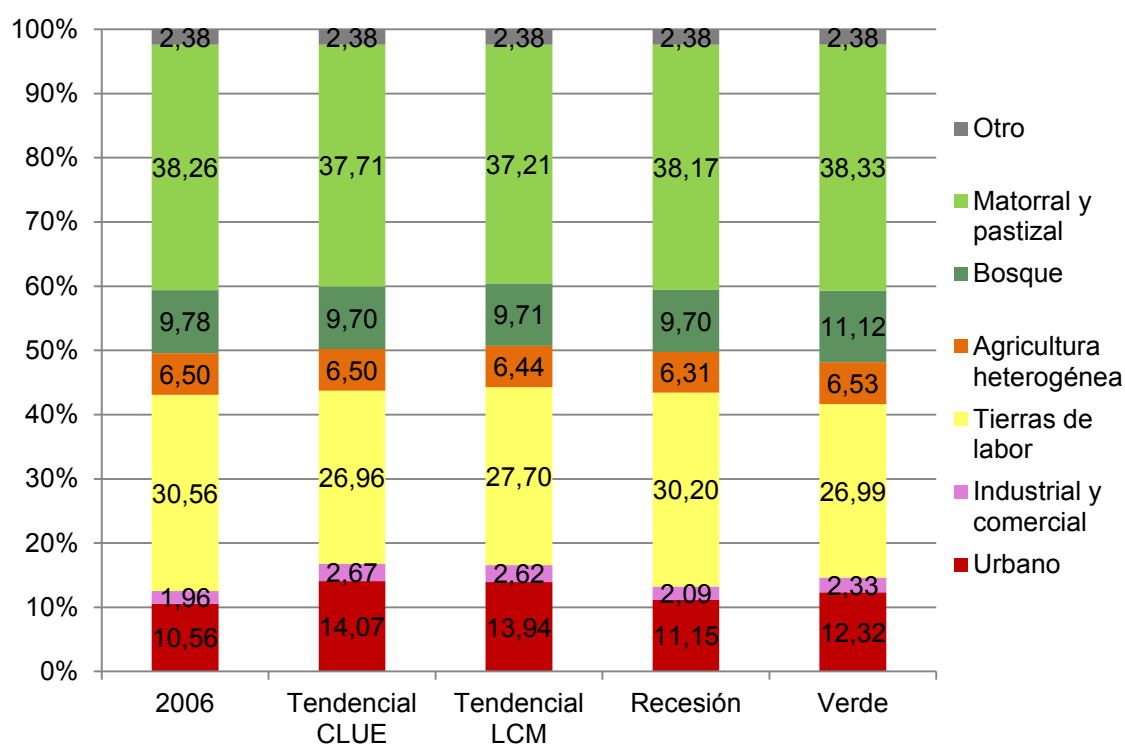


Figura 6-29. Superficie que ocupa cada uso del suelo en el año 2006 y en los diferentes escenarios elaborados para el año 2025, en porcentaje sobre el total.

Las figuras 6-30 a 6-33 muestran los cambios de usos del suelo que podrían producirse entre el año 2006 y el año 2025 bajo el escenario de trayectoria lineal realizado con CLUE, el escenario de trayectoria lineal realizado con LCM, el escenario de recesión económica y el escenario verde, respectivamente.

MAPA DIN-A3

(ver Carpeta “Mapas”)

Figura 6-30. Localización de los cambios de usos del suelo que podrían producirse entre el año 2006 y el año 2025 bajo el escenario de trayectoria lineal realizado con CLUE.

MAPA DIN-A3

(ver Carpeta “Mapas”)

Figura 6-31. Localización de los cambios de usos del suelo que podrían producirse entre el año 2006 y el año 2025 bajo el escenario de trayectoria lineal realizado con LCM.

MAPA DIN-A3

(ver Carpeta “Mapas”)

Figura 6-32. Localización de los cambios de usos del suelo que podrían producirse entre el año 2006 y el año 2025 bajo el escenario de recesión económica realizado con CLUE.

MAPA DIN-A3

(ver Carpeta “Mapas”)

Figura 6-33. Localización de los cambios de usos del suelo que podrían producirse entre el año 2006 y el año 2025 bajo el escenario verde realizado con CLUE.

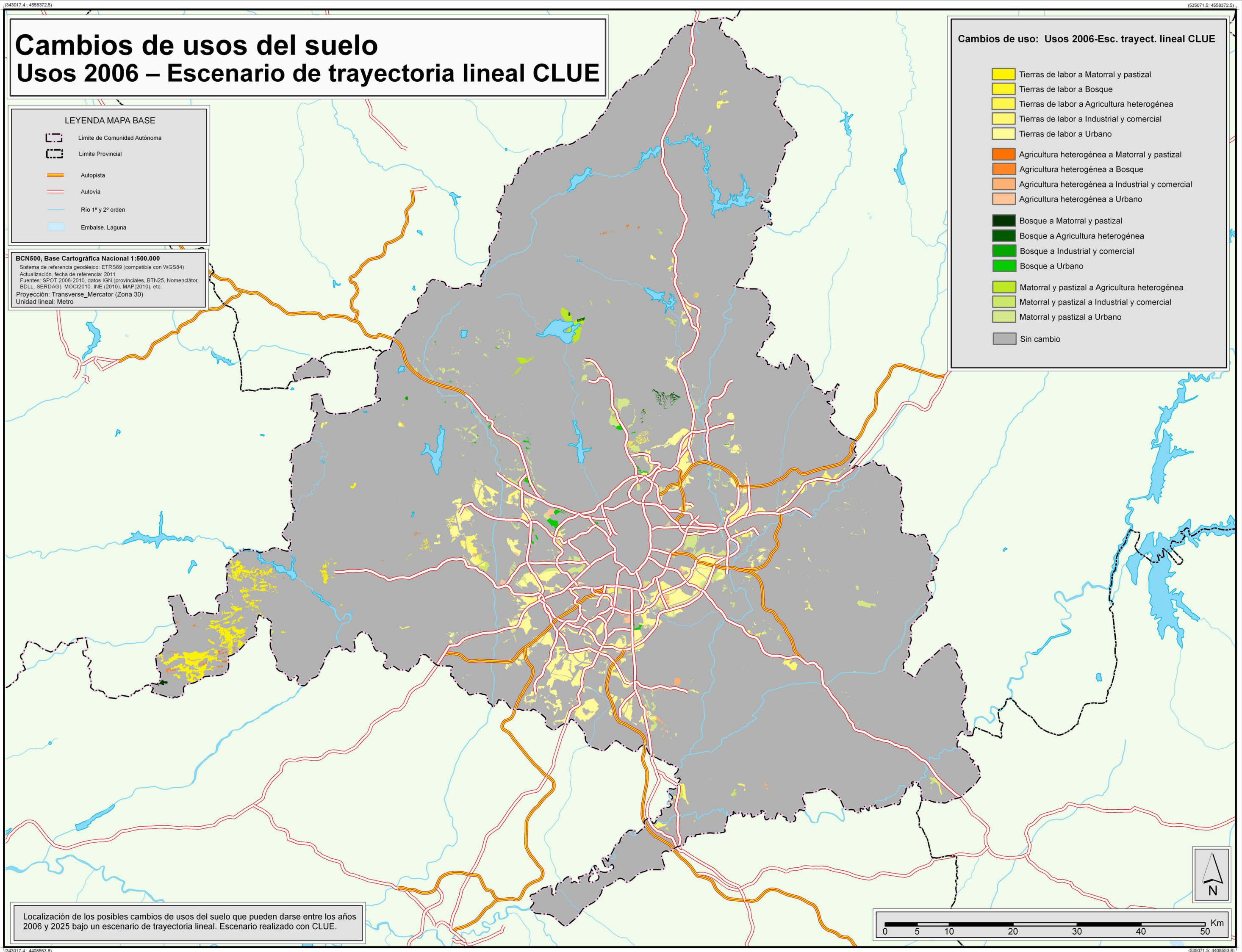


Figura 6-30. Localización de los cambios de usos del suelo que podrían producirse entre el año 2006 y el año 2025 bajo el escenario de trayectoria lineal realizado con CLUE.

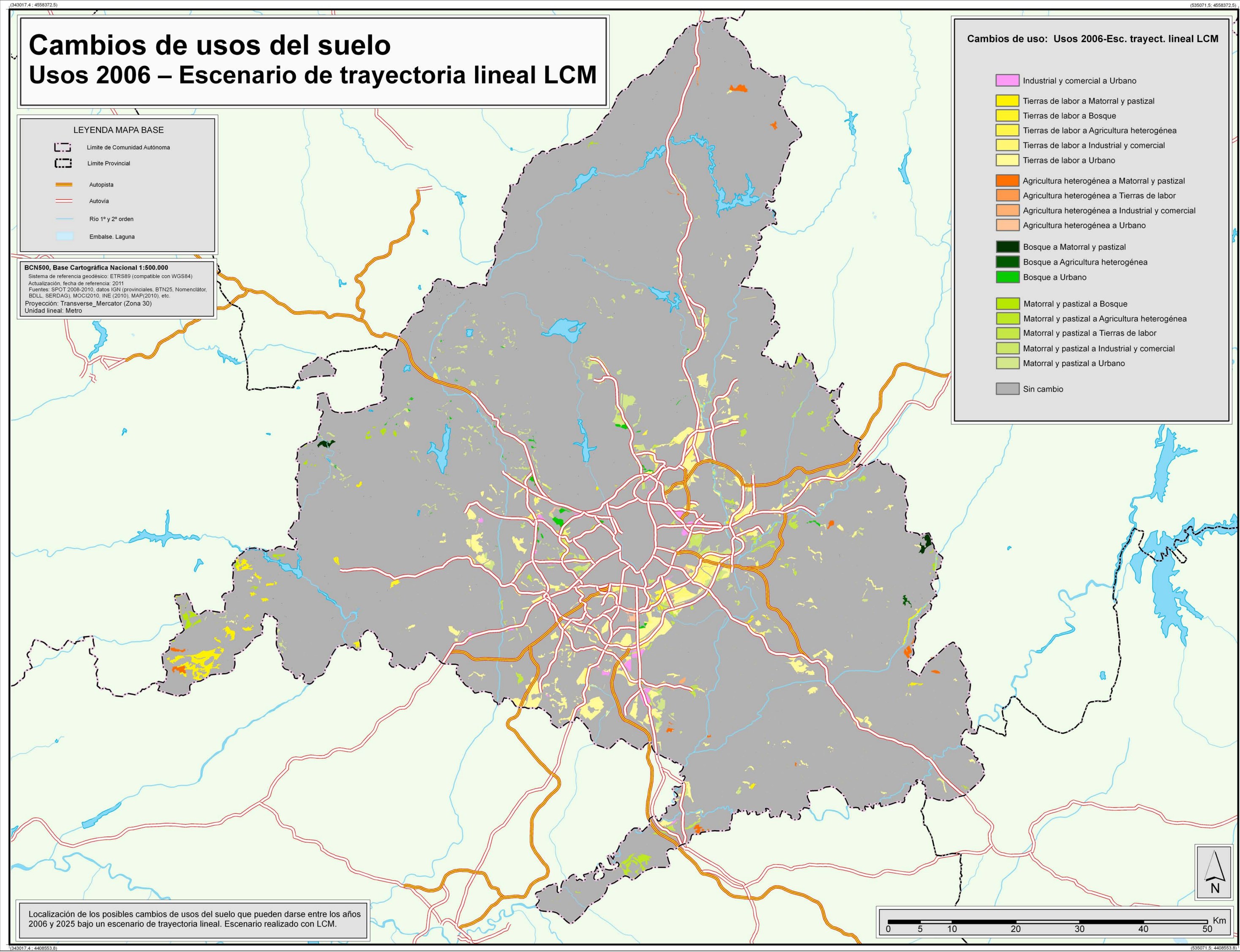


Figura 6-31. Localización de los cambios de usos del suelo que podrían producirse entre el año 2006 y el año 2025 bajo el escenario de trayectoria lineal realizado con LCM.

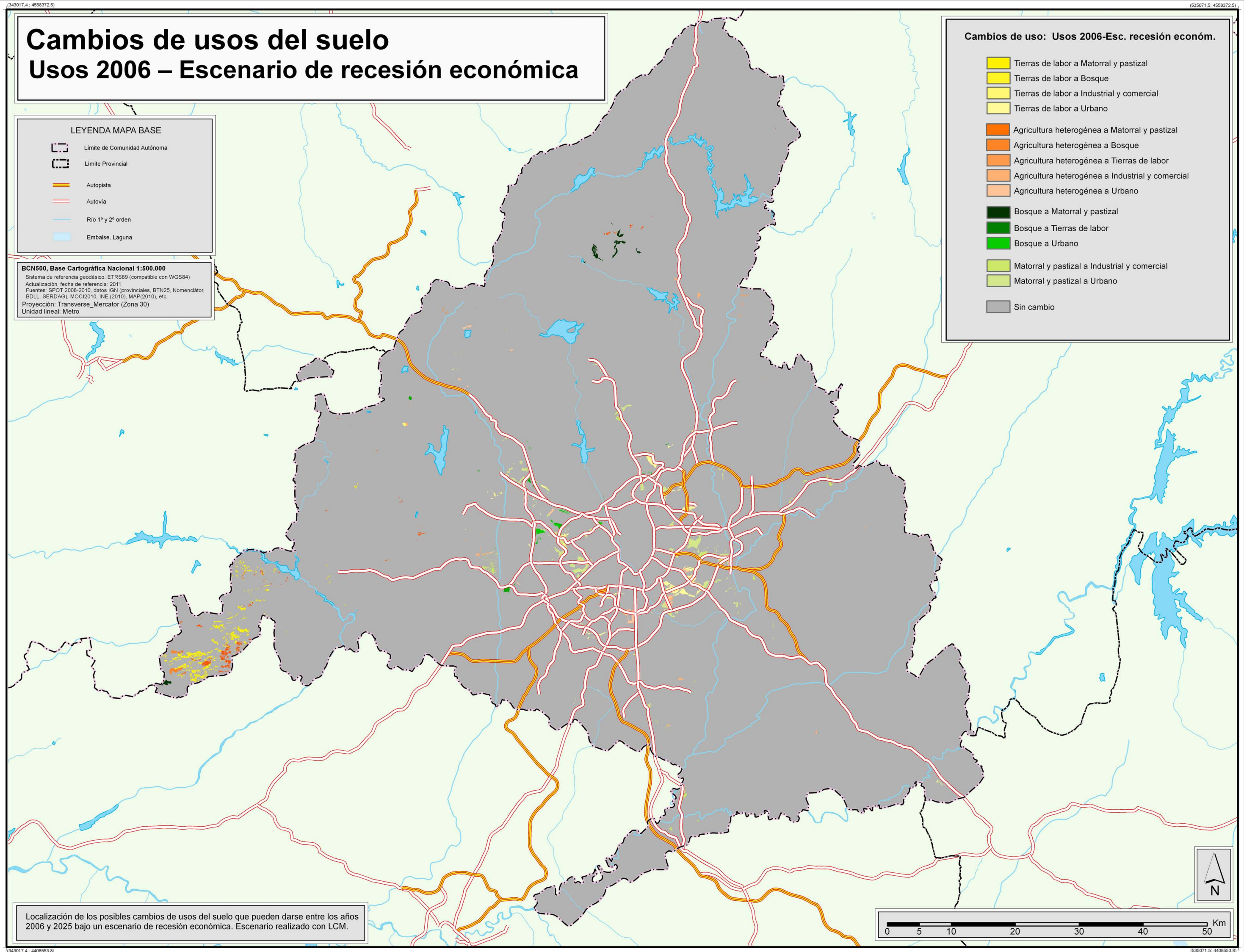


Figura 6-32. Localización de los cambios de usos del suelo que podrían producirse entre el año 2006 y el año 2025 bajo el escenario de recesión económica realizado con CLUE.

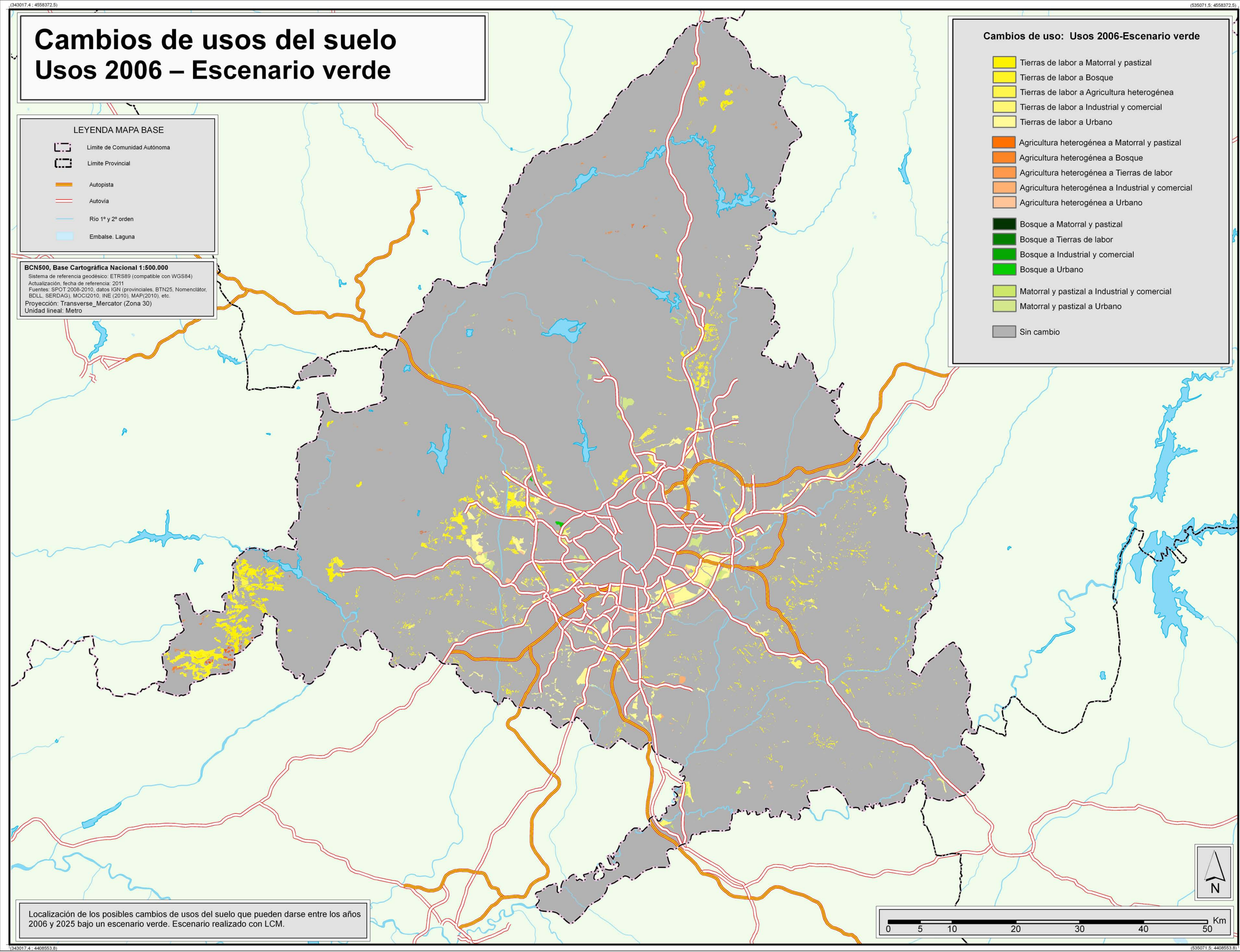


Figura 6-33. Localización de los cambios de usos del suelo que podrían producirse entre el año 2006 y el año 2025 bajo el escenario verde realizado con CLUE.

Los dos primeros, es decir, los correspondientes con los escenarios de trayectoria lineal realizados con CLUE y LCM (figuras 6-30 y 6-31, respectivamente), son los que registrarían los cambios de usos del suelo más numerosos y extensos, ya que las tasas de cambio, como se ha podido observar en la figura 6-29, serían mayores.

Estos cambios se localizarían en los alrededores de la metrópoli madrileña, especialmente en el sur y sureste, pero también en el oeste y en el norte, en torno a las principales carreteras y radiales. En su mayor parte pasarían a convertirse desde tierras de labor a usos urbanos y, en menor medida, a usos industriales y comerciales. La zona más suroccidental de la región también presentaría gran intensidad de cambios; son tierras de labor que serían sustituidas preferentemente por matorral y pastizal. Asimismo, por su extensión destacarían dos manchas: una localizada en torno a Tres Cantos, que se convertiría de matorral y pastizal a urbano, y otra localizada cerca de Coslada, en el cruce entre las carreteras M-21, M-40 y R-3, que pasaría de matorral y pastizal a urbano, en el caso de CLUE, y a industrial y comercial, en caso de LCM. Asimismo, en CLUE, aparecería también una gran mancha en el margen derecho del Embalse de Santillana, que se convertiría a agricultura heterogénea desde un uso de matorral y pastizal.

En el caso del escenario de recesión económica (figura 6-32), éste es el que mostraría menos dinamismo con respecto al año 2006. Los cambios se localizarían también en los lindes de la metrópoli, en torno a las carreteras M-40, M-45 y M-50; la gran mayoría pasaría a formar parte del uso urbano a partir de tierras de labor y de matorrales y pastizales. El área más suroccidental de la región mostraría también grandes cambios, transformándose desde tierras de labor y agricultura heterogénea a matorral y pastizal casi en su totalidad.

Por último, el escenario verde (figura 6-33) con respecto a la realidad del año 2006 y, en comparación con los escenarios mencionados arriba, mostraría unos cambios con una intensidad intermedia y con mayor dispersión por todo el territorio. La principal diferencia con éstos sería el paso de grandes y pequeñas manchas, desperdigadas desde la parte más suroccidental de la región hasta la parte más oriental, desde tierras de labor a usos forestales.

En cuanto a las diferencias registradas entre los diferentes escenarios, éstas se detallan en las figuras 6-34 a 6-37.

El escenario realizado con LCM ha sido comparado únicamente con el escenario de trayectoria lineal realizado con CLUE, ya que éste era el principal objetivo de su cometido.

MAPA DIN A3

(ver Carpeta “Mapas”)

Figura 6-34. Localización de las diferencias registradas entre el escenario de trayectoria lineal realizado con CLUE y el escenario de trayectoria lineal realizado con LCM.

MAPA DIN A3

(ver Carpeta “Mapas”)

Figura 6-35. Localización de las diferencias registradas entre el escenario de recesión económica y el escenario de trayectoria lineal, ambos realizados con CLUE.

MAPA DIN A3

(ver Carpeta “Mapas”)

Figura 6-36. Localización de las diferencias registradas entre el escenario verde y el escenario de trayectoria lineal, ambos realizados con CLUE.

MAPA DIN A3

(ver Carpeta “Mapas”)

Figura 6-37. Localización de las diferencias registradas entre el escenario verde y el escenario de recesión económica, ambos realizados con CLUE.

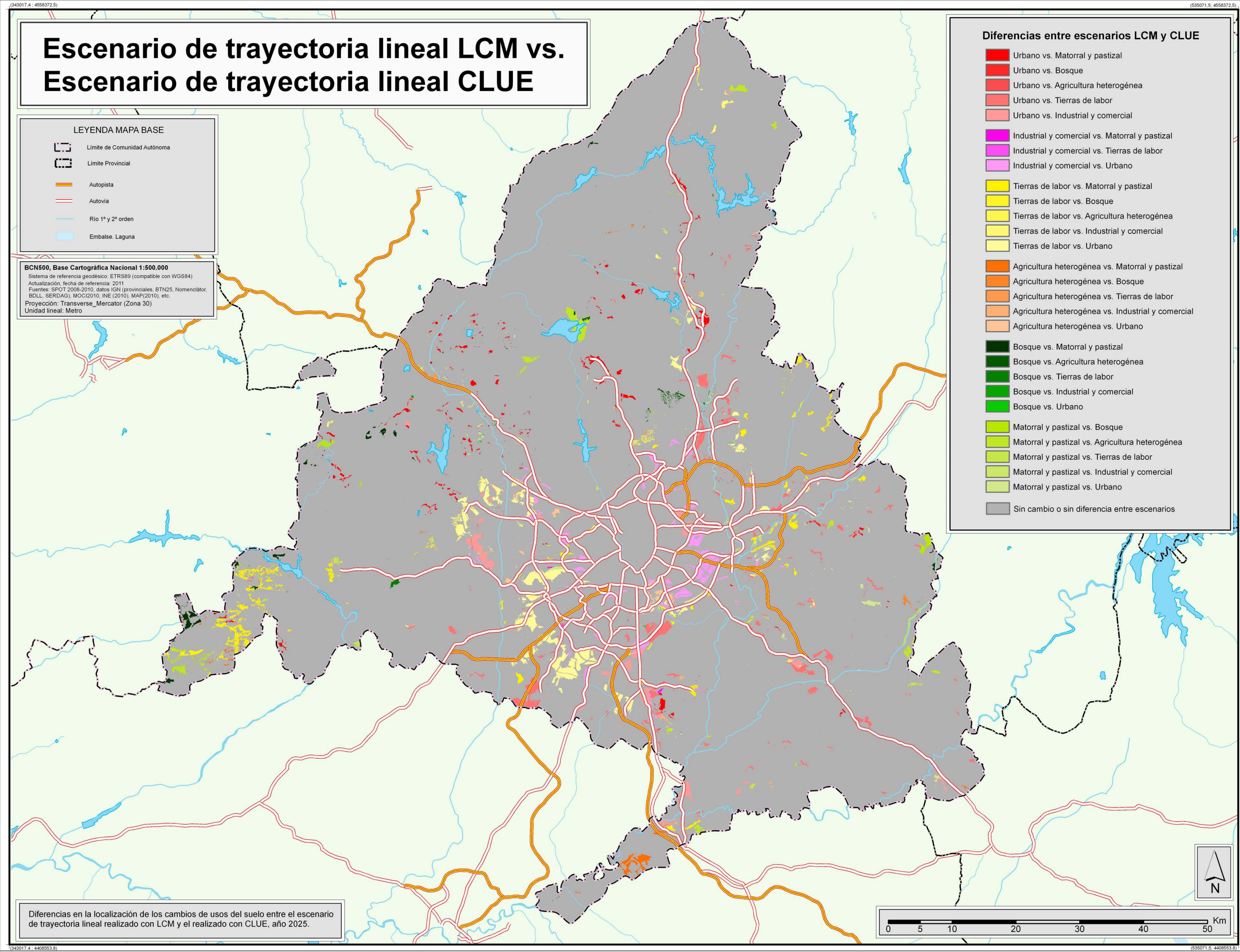
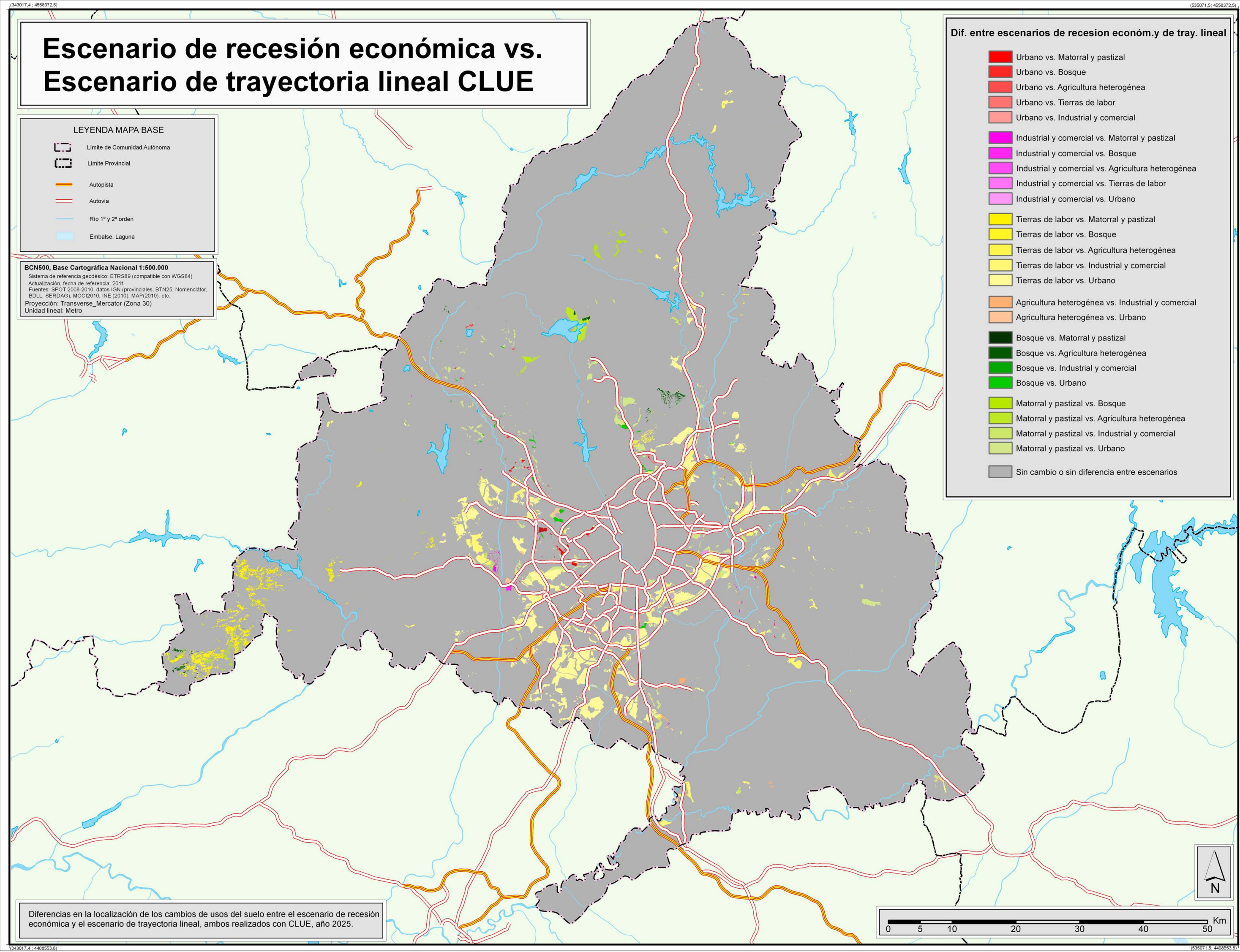


Figura 6-34. Localización de las diferencias registradas entre el escenario de trayectoria lineal realizado con CLUE y el escenario de trayectoria lineal realizado con LCM.



Escenario de recesión económica vs. Escenario de trayectoria lineal CLUE

LEYENDA MAPA BASE

- Límite de Comunidad Autónoma
- Límite Provincial
- Autopista
- Autovía
- Río 1º y 2º orden
- Embalse, Laguna

BCN500, Base Cartográfica Nacional 1:500.000
Sistema de referencia geodésico: ETRS89 (compatible con WGS84)
Actualización, fecha de referencia: 2011
Fuentes: SPOT 2008-2010, datos IGN (provinciales, BTN25, Nomenclátor, BDLL, SERDAG), MOC2010, INE (2010), MAP(2010), etc.
Proyección: Transverse_Mercator (Zona 30)
Unidad lineal: Metro

Dif. entre escenarios de recesion económ.y de tray. lineal

- Urbano vs. Matorral y pastizal
- Urbano vs. Bosque
- Urbano vs. Agricultura heterogénea
- Urbano vs. Tierras de labor
- Urbano vs. Industrial y comercial
- Industrial y comercial vs. Matorral y pastizal
- Industrial y comercial vs. Bosque
- Industrial y comercial vs. Agricultura heterogénea
- Industrial y comercial vs. Tierras de labor
- Industrial y comercial vs. Urbano
- Tierras de labor vs. Matorral y pastizal
- Tierras de labor vs. Bosque
- Tierras de labor vs. Agricultura heterogénea
- Tierras de labor vs. Industrial y comercial
- Tierras de labor vs. Urbano
- Agricultura heterogénea vs. Industrial y comercial
- Agricultura heterogénea vs. Urbano
- Bosque vs. Matorral y pastizal
- Bosque vs. Agricultura heterogénea
- Bosque vs. Industrial y comercial
- Bosque vs. Urbano
- Matorral y pastizal vs. Bosque
- Matorral y pastizal vs. Agricultura heterogénea
- Matorral y pastizal vs. Industrial y comercial
- Matorral y pastizal vs. Urbano
- Sin cambio o sin diferencia entre escenarios

Diferencias en la localización de los cambios de usos del suelo entre el escenario de recesión económica y el escenario de trayectoria lineal, ambos realizados con CLUE, año 2025.



Figura 6-35. Localización de las diferencias registradas entre el escenario de recesión económica y el escenario de trayectoria lineal, ambos realizados con CLUE.

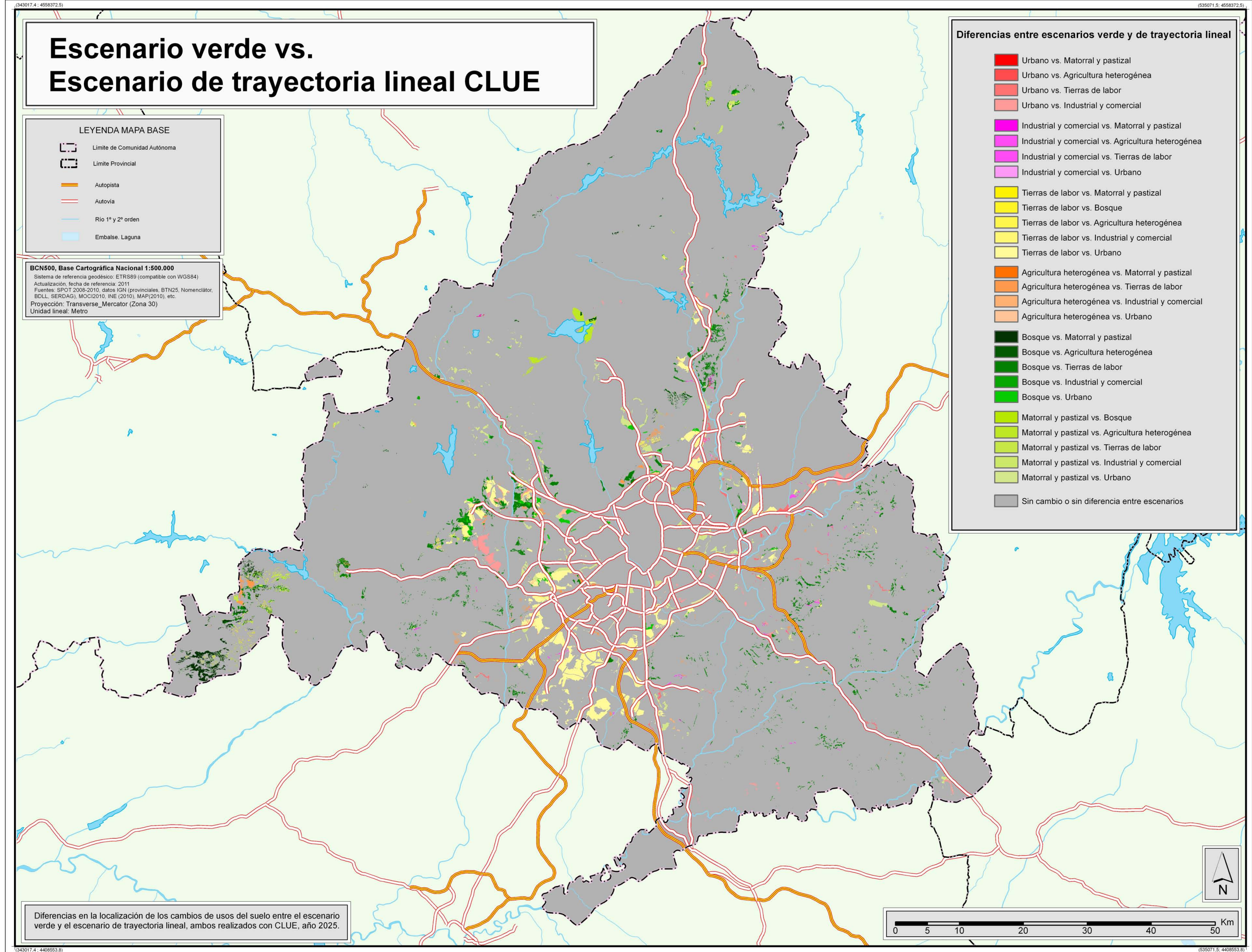


Figura 6-36. Localización de las diferencias registradas entre el escenario verde y el escenario de trayectoria lineal, ambos realizados con CLUE.

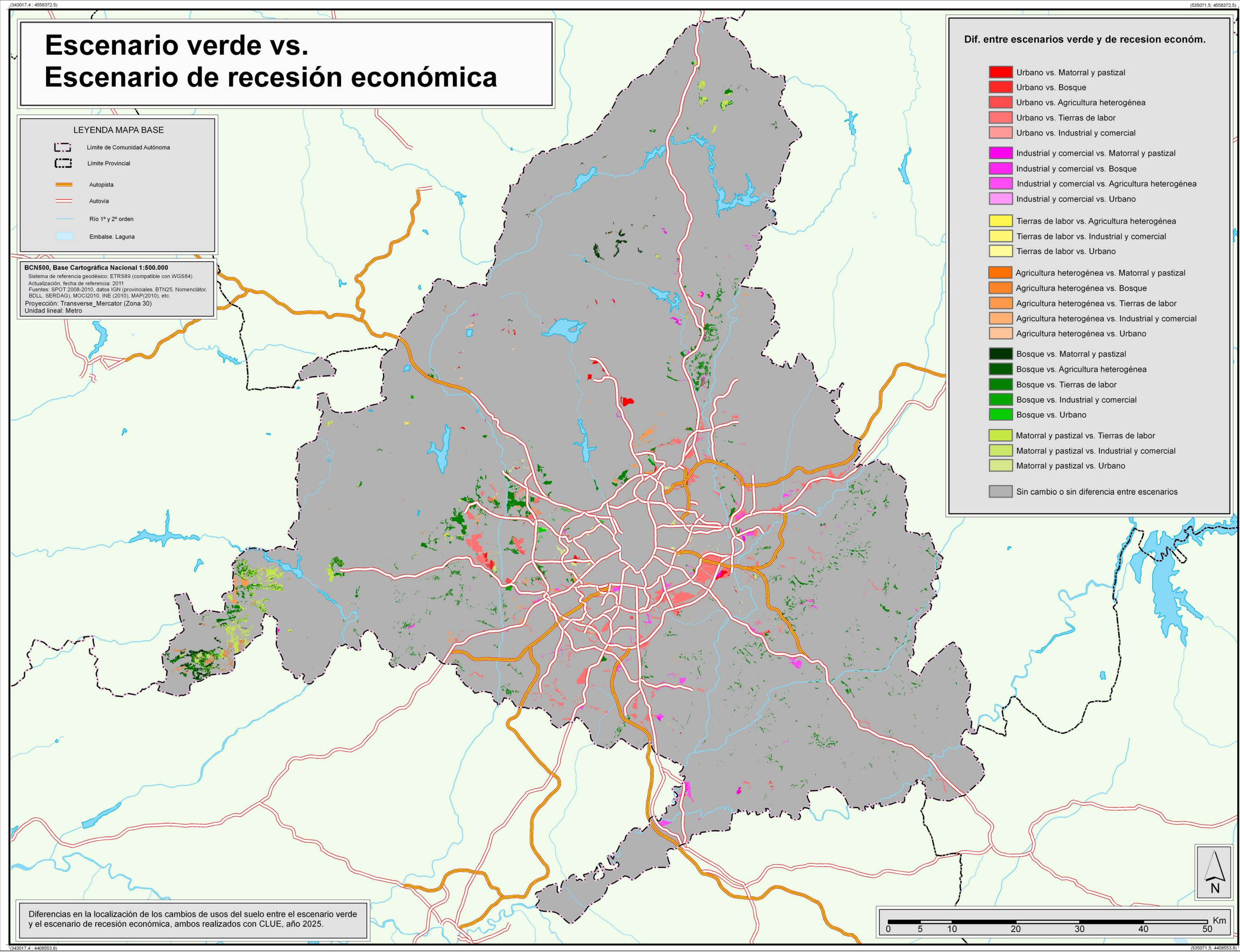


Figura 6-37. Localización de las diferencias registradas entre el escenario verde y el escenario de recesión económica, ambos realizados con CLUE.

La mayor diferencia entre el escenario de trayectoria lineal realizado con CLUE y el realizado con LCM (figura 6-34) puede observarse en las manchas localizadas al sur de la región, desde el norte de Villaviciosa de Odón y sur de Móstoles hasta el sur de Fuenlabrada y Humanes, y las localizadas al oeste, en Villanueva del Pardillo, Villanueva de la Cañada y Majadahonda, en las que LCM predice persistencia de las tierras de labor, mientras que CLUE predice cambio hacia urbano. Por otra parte, al este, en las manchas registradas cerca de la M-45 y M-50, LCM localiza áreas de tipo industrial y comercial mientras que CLUE localiza áreas de tipo urbano. En la Sierra se observan también manchas dispersas localizadas en los alrededores de la A-6: son áreas en las que LCM predice persistencia de matorral y pastizal, y CLUE predice cambio hacia urbano; a su vez, en esta misma área, también hay zonas donde CLUE predice persistencia de matorral y pastizal, y LCM predice cambio hacia urbano. Disimilitudes en cuanto a otros usos, pueden observarse especialmente en la parte suroccidental de la región, donde LCM mantiene, en diferentes áreas, las tierras de labor y la agricultura heterogénea pero, sin embargo, en CLUE éstas transicionan hacia matorral y pastizal.

Las diferencias entre el escenario de recesión económica y el escenario de trayectoria lineal (figura 6-35), ambos realizados con CLUE, son numerosas. En las lindes de la metrópoli, tanto al sureste y sur como al norte y oeste, se observan múltiples manchas que se corresponden con áreas que en el escenario tendencial cambiarían a urbano o a industrial y comercial, mientras que en el escenario de recesión permanecerían estables; esto se debe a que el segundo predice un desarrollo limitado del uso urbano con respecto al primero, que predice un desarrollo intenso de éste. Asimismo, en la parte más suroccidental de la región, pueden observarse varios píxeles en los que, en un escenario de recesión, se mantendrían como tierras de labor, mientras que en un escenario tendencial se transformarían a matorral y pastizal.

Si se compara el escenario verde con el escenario de trayectoria lineal (figura 6-36), se observan también amplias áreas alrededor de la metrópoli que permanecen estables en el primero y cambian a urbano y, en menor medida, a industrial y comercial en el segundo, si bien, éstas no son tan numerosas como en el ejemplo anterior, y se concentran especialmente al sur y al suroeste. Las manchas localizadas en el margen suroccidental, en el escenario verde se transformarían en bosque, mientras que en el escenario tendencial cambiarían a matorral y pastizal. Asimismo, aparecen también numerosos píxeles en torno a la autopista A-1 y en los alrededores de Las Rozas, Majadahonda y Villanueva del Pardillo, así como píxeles dispersos al sureste de la región; estas áreas pasarían a conformar bosques en un escenario verde, mientras que, en un escenario de trayectoria lineal, se mantendrían como tierras de labor.

Por último, se ha confrontado el escenario verde con el escenario de recesión económica (figura 6-37). Esta comparación muestra diferencias localizadas alrededor de la metrópoli: en el sureste y en el este se distinguen áreas en las que, en el primero, se detallan como urbano, mientras que, en el segundo, son tierras de labor. En la zona de Las Rozas, Majadahonda y Villanueva del Pardillo se encuentran zonas que pertenecen a bosque en el primero, y a tierras de labor en el segundo. En torno a la autopista A-1 y al sureste de la región, de forma dispersa, las manchas se corresponden con bosques en el escenario verde, mientras que en el escenario de recesión son tierras de labor. Por otra parte, en el margen suroccidental aparecen dos diferencias de usos: áreas que son matorral en el primer caso y tierras de labor en el segundo, y áreas que en el primero son bosques y en el segundo matorral. Al norte de la región aparecen manchas pertenecientes a bosques en el escenario verde y a tierras de labor en el escenario de recesión; y en torno a Miraflores de la Sierra, existen áreas de bosque, en el primero y de matorral, en el segundo. Por último, en las áreas cercanas a Tres Cantos y Colmenar, así como en Villanueva de la Cañada aparecen píxeles que representan zonas urbanas en el escenario verde, mientras que, en el escenario de recesión, éstas se corresponden con matorral y tierras de labor, respectivamente.

6.4 IMPLICACIONES

La información proporcionada por los futuros escenarios de usos del suelo permite realizar diversos análisis y obtener información más detallada sobre futuros procesos o las futuras implicaciones que éstos pueden tener.

Así, por ejemplo, analizando los diferentes escenarios y comparándolos con datos reales pueden obtenerse diversas métricas del paisaje, como pueden ser índices de fragmentación, de conectividad, de diversidad etc. permitiendo obtener información sobre posibles patrones de paisaje que podrían darse en el futuro.

Los mapas futuros de usos del suelo pueden relacionarse con estudios de movimientos de especies, observando cómo el movimiento de ciertas especies puede mejorar o agravarse dependiendo de los cambios de usos del suelo que puedan darse, o pueden relacionarse también, con *ecosystem services*, previendo qué futuras demandas o qué problemáticas pueden existir en un área determinada.

Este apartado muestra un sencillo ejemplo en el que se han comparado los tres escenarios realizados con CLUE (trayectoria lineal, recesión y verde) y el escenario realizado con LCM (trayectoria lineal) con el Mapa de Clases Agrológicas elaborado por la Universidad Politécnica de Madrid y la Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transporte de la Comunidad de Madrid.

Para obtener unos resultados fácilmente interpretables y fácilmente representables espacialmente, el mapa de clases agrológicas fue reclasificado en cuatro clases diferentes, tal y como muestra la tabla 6-16.

De la misma manera, el mapa del año 2006 y los mapas de los escenarios también fueron reclasificados en cuatro categorías: 1) urbano e industrial y comercial; 2) tierras de labor y agricultura heterogénea; 3) bosque y matorral; y 4) otros.

Clase	Descripción	Reclasificación de clases
2	Tierras con limitaciones moderadas que reducen la gama de cultivos o requieren ciertas técnicas de manejo.	2
3	Tierras con severas limitaciones que reducen la gama de cultivos y/o requieren especiales técnicas de manejo.	3
4	Tierras con limitaciones muy severas que restringen de forma significativa la gama de cultivos y/o requieren técnicas de manejo muy complejas.	3
5	Tierras con poco o ningún riesgo de erosión pero con otras limitaciones difícilmente superables que restringen su uso principalmente a prados, pastizales, bosques o áreas naturales.	3
6	Tierras con severas limitaciones que las hacen normalmente inadecuadas para el cultivo y que restringen su uso a prados, pastizales, bosques o áreas naturales.	4
7	Tierras con limitaciones muy severas que las hacen inadecuadas para el cultivo y que restringen su uso a pastizales, bosques o áreas naturales.	4
8	Tierras con limitaciones que impiden su uso agrario comercial y que limitan su uso a áreas naturales.	4
-	Sin aptitud (zonas ya construidas, embalses, etc.)	1

Tabla 6-16. Reclasificación realizada del mapa de clases agrológicas. En la CM no existe la clase agrológica 1 correspondiente con tierras con limitaciones a lo sumo ligeras que no restringen su uso.

La categoría 1 quedaría definida como tierras sin aptitud. La categoría 2 como tierras con limitaciones moderadas que reducen la gama de cultivos. La categoría 3 se correspondería con tierras con limitaciones severas que reducen su uso como cultivo. Y la categoría 4 se definiría como tierras con limitaciones muy severas que restringen su uso a prados, pastizales, bosques o áreas naturales. Estas limitaciones se refieren a la capacidad agroforestal de las tierras y no tienen por qué afectar a la capacidad de las tierras para usos no agroforestales.

La tabla 6-17 muestra el resultado obtenido al cruzar el mapa del año 2006 y cada uno de los escenarios con el mapa de clases agrológicas. En ella, se puede observar la cantidad de cada categoría de usos del suelo que está localizada sobre tierras con limitaciones moderadas, limitaciones severas y limitaciones muy severas, en porcentajes sobre el total.

	Uso del suelo	Limitación moderada	Limitación severa	Limitación muy severa
2006	Artificial	0,07	8,25	2,05
	Agrícola	2,54	28,58	5,38
	Forestal	0,11	14,11	33,43
Lineal LCM	Artificial	0,10	10,91	2,70
	Agrícola	2,50	26,62	4,92
	Forestal	0,13	13,43	33,22
Lineal CLUE	Artificial	0,09	11,30	2,49
	Agrícola	2,53	26,17	4,67
	Forestal	0,11	13,49	33,70
Recesión	Artificial	0,08	8,27	2,05
	Agrícola	2,55	28,73	5,13
	Forestal	0,11	13,96	33,67
Verde	Artificial	0,09	9,49	2,24
	Agrícola	2,51	26,61	4,31
	Forestal	0,14	14,87	34,29

Tabla 6-17. Relación entre los diferentes usos del suelo y las clases agrologicas en cada uno de los escenarios realizados, en porcentajes sobre el total.

Del análisis de estos resultados obtenidos puede apreciarse que los usos del suelo artificiales se encontrarán localizados, en su mayor parte, sobre tierras de limitaciones severas, seguidas de tierras de limitación muy severa, y serán casi inexistentes los que se localicen sobre tierras de limitación moderada, por lo que el cambio de usos, independientemente de la competencia entre usos más o menos intensivos, no supondrá una merma sensible de la capacidad agroforestal de la región.

En cuanto a los usos agrícolas, éstos se localizarán también, en su mayor parte, sobre tierras de limitación severa, seguidos de tierras con limitación muy severa y, muy cerca, sobre tierras con limitación moderada.

Por último, los usos forestales se localizarán, principalmente, sobre tierras de limitaciones muy severas, seguidos de tierras con limitaciones severas y, muy por debajo, de tierras con limitación moderada.

Los escenarios de trayectoria lineal tienen los valores más altos de usos artificiales localizados en tierras de limitaciones moderadas (LCM), severas (CLUE) y muy severas (LCM), debido a que son los que predicen más uso del suelo artificial. En relación con esto, son los que localizan menos tierras agrícolas en tierras con limitaciones moderadas (LCM) y severas (CLUE) y también los que localizan menos usos forestales sobre tierras con limitaciones moderadas (CLUE), severas (LCM) y muy severas (LCM).

El escenario de recesión económica es el que tiene menos uso artificial localizado en cualquiera de las clases agrológicas definidas. Esto es debido a que es el escenario que predice menos crecimiento de usos artificiales. Por otra parte, este escenario es el que tiene los valores más altos de tierras agrícolas localizadas tanto en tierras con limitaciones muy severas como en tierras con limitaciones severas y moderadas, ya que al predecir menos uso artificial, el uso agrícola es conservado.

Por último, es el escenario verde el que tiene los valores más bajos en cuanto a localización de usos agrícolas sobre tierras de limitación severa, pero posee los valores más altos en la localización de uso forestal sobre cualquiera de las limitaciones analizadas. Esto se debe a que dicho escenario es el que predice el mayor crecimiento de los usos forestales.

La distribución geográfica puede observarse en las figuras siguientes. Dado que las diferencias en los resultados obtenidos no son muy notables, se muestran los dos ejemplos más extremos, es decir, los resultados obtenidos al cruzar el mapa de clases agrológicas con el año 2006 (figura 6-38) y con el escenario tendencial realizado con CLUE (figura 6-39).

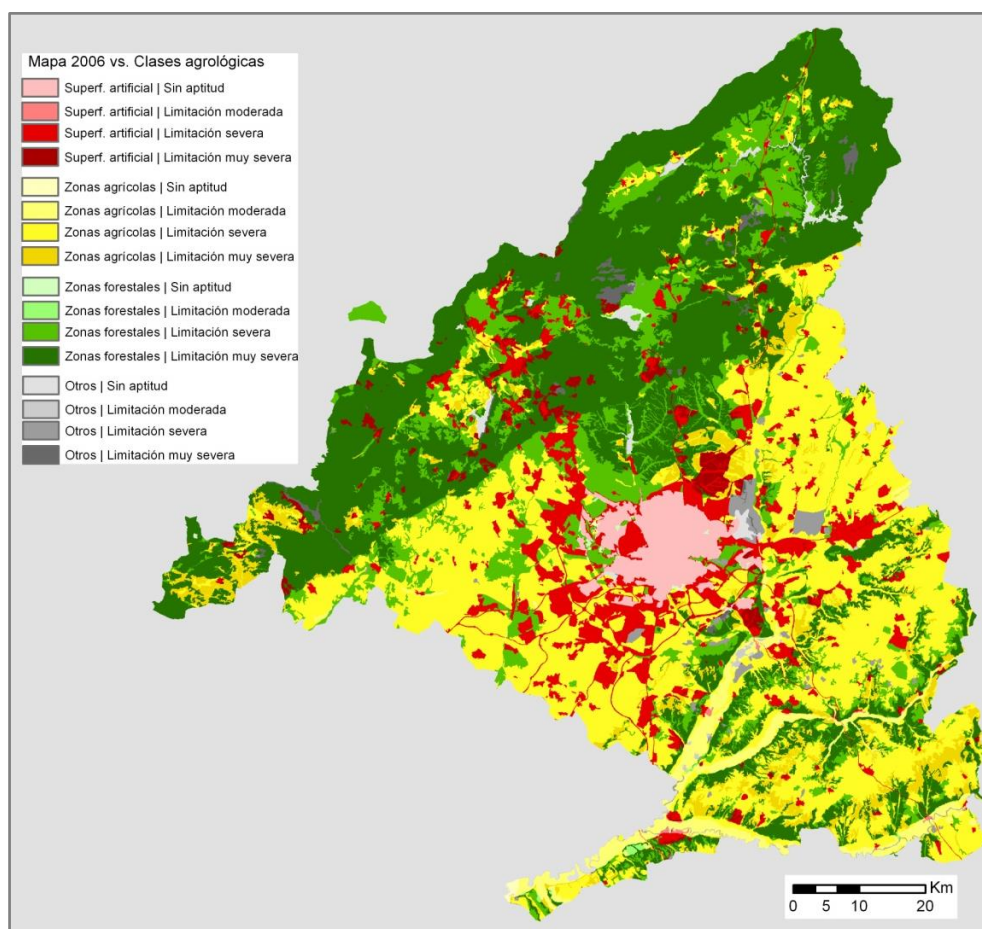


Figura 6-38. Mapa cruce entre el mapa del año 2006 y el mapa de clases agrológicas.

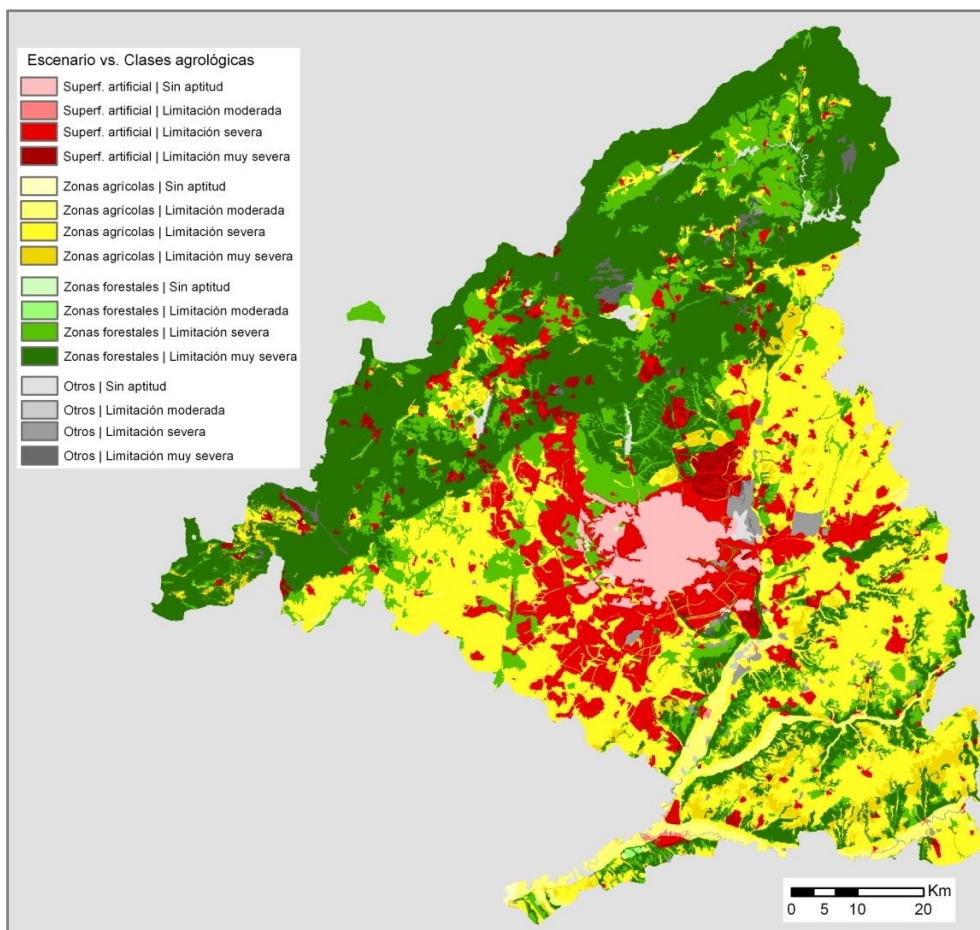


Figura 6-39. Mapa cruce entre el escenario de trayectoria lineal realizado con CLUE y el mapa de clases agrológicas.

Las tierras con limitación moderada, como puede observarse en las figuras, son muy escasas en la CM y, es por ello, por lo que se obtienen valores muy bajos.

Tener en cuenta la calidad de los suelos es de vital importancia si se desea incrementar la adaptación del suelo con su uso, con el fin de lograr un mayor grado de sostenibilidad local.

Una distribución adecuada entre los diferentes usos del suelo y las clases agrológicas definidas podría estar representada por usos agrícolas que ocupasen los suelos con mayor capacidad agrológica y con menores limitaciones que, en el caso de la CM, son los correspondientes a las tierras con limitaciones moderadas (el escenario de recesión económica es el que lo define con mayor acierto); los usos forestales podrían asentarse sobre cualquier suelo, pero si las tierras con limitaciones moderadas se dedicasen a la agricultura, éstos tenderían a localizarse sobre tierras con limitaciones severas o muy severas (como señala el escenario verde); asimismo, los usos artificiales podrían ocupar también cualquier suelo, pero deberían localizarse en tierras con limitaciones severas (como indica el escenario tendencial

realizado con CLUE), ya que las tierras con limitaciones muy severas deberían corresponderse con los usos naturales por ser zonas de pendiente, mientras que las tierras con limitaciones moderadas deberían dedicarse a tierras agrícolas.

6.5 CONCLUSIONES

Mediante la aplicación de modelos predictivos de cambios de usos del suelo se puede proyectar el futuro, tanto a corto plazo, atendiendo a las demandas más urgentes, como a largo plazo, gestionando correctamente el medio natural y evitando situaciones con impacto negativo.

La creación de escenarios futuros no está exenta de dificultades. Los usos del suelo operan en sistemas complejos, sobre sistemas sociales y ecológicos interrelacionados. Determinados procesos se dan a una escala específica y existen interrelaciones espaciales entre variables que cambian con la escala.

La autocorrelación espacial que presentan los patrones de usos del suelo en este tipo de estudios puede derivar en una falta de independencia en las observaciones; esta autocorrelación puede ser explicada, en gran parte, por la distribución de tipo clúster de las características del paisaje y de las condiciones ambientales determinantes de los patrones de usos del suelo; otra razón son las interacciones espaciales entre los diferentes usos del suelo (por ejemplo, la expansión urbana se sitúa normalmente entorno a las áreas urbanas ya existentes). Los modelos sufren además de multicolinealidad ya que las variables predictivas están normalmente correlacionadas una con otra. La presencia de multicolinealidad y autocorrelación supone la exclusión de una gran cantidad de variables que pueden ser determinantes a la hora de comprender las dinámicas de los usos del suelo (Plata Rocha, 2010). Para Briassoulis (2000) *“éste es un problema cuando se usan los modelos para explicar, pero no cuando se utilizan para predecir”*.

Asimismo, hay que tener en cuenta que aquellos escenarios que son realizados mediante la extrapolación de las trayectorias pasadas y teniendo en cuenta las políticas actuales, no tienen por qué producir resultados plausibles, ya que los cambios pasados no son garantía de que los cambios predichos puedan darse en el futuro (Koomen et al., 2011).

La simulación de múltiples cambios de usos del suelo es, además, más difícil que la simulación de un único cambio, debido a las numerosas variables espaciales y parámetros que tienen que ser tenidos en cuenta.

Combinar dos software de simulación de usos del suelo, como CLUE y LCM, sirve para alcanzar unos resultados más plausibles y verosímiles, así como para enfatizar los posibles procesos que pueden ocurrir en el futuro próximo.

Una de las ventajas de los modelos estadísticos utilizados en este trabajo, tanto LR como MLP, es que son fácilmente replicables y rápidos de aplicar; desventajas, pueden ser, que asumen que los procesos que se han dado en el pasado van a seguir dándose y no admiten, por ejemplo, la introducción de nuevos usos del suelo que podrían darse en el futuro.

Como se ha comentado, en LCM, las transiciones de Tierras de labor a Bosque, Agricultura heterogénea a Tierras de labor y Agricultura heterogénea a Bosque contienen menos de 1.000 píxeles de cambio, lo cual puede estar causando un sobre-ajuste en los resultados; dichas transiciones podrían evitarse, siendo los usos que las integran agregados a otras categorías, ya que el proceso no es explicativo del cambio que ha sucedido en la región. Del mismo modo, podrían haberse seleccionado otras variables que expliquen más el cambio que la localización. No obstante, como el objetivo de este estudio era comparar el resultado obtenido por este modelo con el modelo realizado con CLUE, se optó por mantener dichas transiciones, así como los mismos factores explicativos.

CLUE permite jugar con una gran variedad de opciones, lo que conlleva a un mejor entendimiento del funcionamiento del modelo. El módulo de predicción de LCM, sin embargo, es bastante cerrado en comparación con el anterior; es por ello que el procedimiento de MLP, a pesar de su habilidad para modelar relaciones no lineales complejas, ha sido considerado como una caja negra. No obstante la nueva versión de IDRISI, Selva, permite al usuario abrir esta caja negra y observar qué es lo que está haciendo la red neuronal y averiguar cómo perfeccionar el modelado. Por otra parte, LCM solo permite trabajar con dos mapas de usos del suelo de dos fechas diferentes, mientras que CLUE permite la incorporación de más datos temporales.

Otra diferencia entre ambos software, en cuanto a los resultados que se obtienen, es que CLUE tiende a modelar píxeles sueltos, mientras que LCM modela a base de manchas. Esto puede conllevar a la obtención de valores más altos en los estadísticos de validación si se realiza una comparación píxel a píxel.

Por otra parte, la interfaz de LCM es más amigable que la de CLUE, por lo que es más fácil e intuitivo de usar. El funcionamiento de CLUE es más arduo de comprender y reporta, en ocasiones, errores que aún no están documentados en el manual.

Para mejorar los modelos aquí elaborados se podrían considerar otras variables explicativas para intentar capturar mejor determinados procesos; por ejemplo, se puede incorporar información sobre la influencia de otras CC.AA en la CM y viceversa. Un acierto habría sido poder incorporar datos sobre la localización de futuras carreteras a construir, así como información demográfica al detalle espacial requerido, pero no se pudo obtener información

sobre ello. Un análisis multi-escalar, bajando a nivel de municipio o subiendo a nivel nacional, podría ser también de gran interés. Por otra parte, el trabajo con agentes, tanto en la realización de los modelos como en los análisis de los resultados, hubiese sido de gran utilidad también, ya que permite un *feedback* y, por ende, una potencial mejora de todo el proceso de modelado, así como la transferencia de conocimiento y de los resultados.

Reiterar, por último, que los escenarios de usos del suelo a futuro pueden convertirse en una herramienta útil para el diseño de la planificación territorial y como instrumento para reparar posibles desequilibrios y errores cometidos en el pasado. La idoneidad y la sostenibilidad de los usos del suelo debe ser una necesidad prioritaria para las administraciones locales, regionales y estatales.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO

7.1 Conclusiones generales

7.2 Posibles líneas futuras de trabajo

7.1. CONCLUSIONES GENERALES

Este trabajo ha permitido mostrar la evolución de la Comunidad de Madrid (CM) en relación con los cambios de usos del suelo que se han sucedido durante casi tres décadas de estudio. La información aquí recogida y los resultados obtenidos demuestran el interés y la utilidad de este tipo de herramientas en los procesos de planeamiento y en la gestión del territorio.

Conclusiones metodológicas:

- En las últimas décadas, ha emergido una “ciencia integrada de la tierra”, que ha enlazado las ciencias humanas y las ciencias ambientales con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la teledetección, con el objetivo de resolver diferentes cuestiones acerca de los cambios de usos y cubiertas del suelo y los impactos que estos cambios tienen en la sociedad y en el medioambiente (Turner, 2002).
- Los cambios en la ocupación o en los usos del suelo juegan un papel fundamental en el desarrollo económico y social a escala local y regional e, incluso, a escala global. El estudio y la evolución que se ha producido a lo largo del tiempo de dichos cambios permite el análisis de procesos medioambientales y de problemas que han podido darse.
- Los usos del suelo pueden funcionar como reguladores del clima y son soporte de diferentes funciones del ecosistema. Una mala gestión de éstos puede ocasionar múltiples impactos negativos, como pueden ser el aumento de gases de efecto invernadero, pérdida de biodiversidad, destrucción de hábitats, degradación y fragmentación de paisajes, pérdidas de polinización, degradación de la calidad del suelo, pobreza, inundaciones, deterioro en la calidad del agua, etc.
- Por otra parte, los cambios de usos del suelo pueden mejorar el intercambio de energía, agua y nutrientes relacionados con las necesidades humanas y, de la misma manera, pueden favorecer el intercambio de especies y la disponibilidad de servicios al ecosistema, si se gestionan de forma adecuada.
- El interés, hoy en día, va más allá de la colección y representación de los usos del suelo en mapas y se dirige hacia un modelado más dinámico con el objeto de entender el pasado, monitorear el presente y predecir futuras trayectorias (Jansen, 2006).

- Los modelos de simulación son una herramienta para la elaboración de imágenes tendenciales y deseadas en el ejercicio de la planificación. Su elaboración sirve para analizar el futuro de una manera estructurada e integrada y ofrece un marco para combinar diferentes datos, modelos y puntos de vista.
- La elaboración de escenarios futuros permite descubrir el efecto que puede provocar, en los usos del suelo, perpetuar la evolución que se ha mantenido durante los años pasados y qué pasaría si dichas pautas son modificadas.
- El objetivo de los escenarios de cambios de usos del suelo es investigar qué grandes cambios podrían esperarse, así como anticipar qué patrones de cambios de usos del suelo pueden ser esperados y cómo la consecución de diferentes políticas puede impactar y afectar de diferente manera sobre el territorio.
- En la actualidad existen numerosas técnicas para llevar a cabo modelizaciones de cambios de usos del suelo y de simulaciones a futuro. Si bien, Parker et al. (2002) señalan que es necesario desarrollar modelos más sensibles a la variabilidad regional y más eficaces para la formulación de políticas, que no tiendan a simplificar las variables que expresan el comportamiento humano; y Lambin y Geist (2006) comentan que el trabajo de modelación integrado debe realizarse con bases de datos globales, regionales y locales, no solo en cuanto a las clases de cubiertas del suelo, sino también en cuanto a la gestión de la tierra, mediante un SIG más participativo y el intercambio de datos.
- Hoy en día, estos modelos deben incorporar a las múltiples partes interesadas en la planificación. Es por ello que los modelos basados en agentes se han convertido en una de las herramientas más utilizadas para la comprensión en la toma de decisiones. Tal y como señalan Zondag y Borsboom (2009), los cambios en las clases sociales o en el comportamiento de diversos actores pueden reflejarse, por ejemplo, en diferentes demandas de usos del suelo, densidades de usos o cambios en localizaciones. Así, Lambin y Geist (2006) indican que los modelos de simulación espacialmente explícitos basados en multi-agentes permiten simular las sorpresas y evaluar los impactos potenciales que éstas pueden tener sobre el territorio.
- Igualmente, los investigadores necesitan trabajar conjuntamente con los políticos y con agentes involucrados en la ordenación del territorio (OT) para identificar y, en muchos casos, desarrollar, testar y validar, políticas viables que influyan en los patrones y en la velocidad de los cambios de usos del suelo. Reid et al. (2006) comentan, también, que una conexión entre los responsables políticos, las comunidades locales y los

científicos reduciría el riesgo de cambios inesperados en sitios inesperados y fortalecería el proceso de gestión de la tierra. La suma de voluntades y capacidades favorece, así, sinergias en el camino para mejorar las incertidumbres.

- En consecuencia, antes de cualquier intervención política sobre el territorio, se debería tener un conocimiento del complejo conjunto de causas que afectan a los cambios de usos del suelo y cómo los diferentes elementos y factores influyen y pueden influir en el futuro en un área determinada.
- Entender qué es lo que desencadena dichos cambios es, por tanto, fundamental. La relación entre los diferentes factores explicativos y los cambios acontecidos debe ser desentrañada, no solo mediante la utilización de variables locacionales, socioeconómicas, demográficas o ambientales detalladas espacialmente, sino también mediante la inclusión de cuestiones relacionadas con la gobernanza.
- En estudios regionales o locales, se necesita información más detallada, no solo de usos y cubiertas del suelo, sino también de variables humanas y naturales, como pueden ser: precipitación, temperatura, humedad, contaminación, densidad de población, estructura por edad, inmigración y emigración, fuerza del trabajo, migraciones campo-ciudad, prácticas en el manejo de la tierra, sistemas de tenencia de la tierra, nutrientes, número y distribución de especies, consumo de energía, edad de los trabajadores en los diferentes sectores económicos, uso de maquinaria, ingresos derivados de cada sector, precio de la vivienda, número de coches por persona, número de turistas, explotaciones hidrológicas, demanda de electricidad y agua, políticas de mitigación del cambio climático, transformaciones energéticas, incremento de los precios energéticos, etc.
- Los resultados de este tipo de estudios dependen de la calidad, la compatibilidad y la precisión del conjunto de datos de entrada. La cartografía generada con diferentes fuentes de información y diferente metodología debe ser examinada y tratada previamente; se debe llevar a cabo un proceso de generalización y homogeneización cartográfica, tanto temática como espacialmente, con el objetivo de hacer equivalentes los datos y eliminar así posibles incongruencias, resultados imprevistos y/o cambios que no se ajustan a la realidad.
- Es por ello que, antes de proceder a este tipo de análisis, se debe verificar que la información cartográfica con la que se cuenta es fiable. Una previa búsqueda de posibles errores y su posterior corrección, evitará obtener falsos resultados de cambios y unos escenarios más ajustados.

Conclusiones temáticas:

- En cuanto a los procesos acontecidos en el área de estudio de este trabajo, la Comunidad de Madrid (CM), puede decirse que los grandes cambios están asociados principalmente al rápido desarrollo de la urbanización y del sistema de transporte.
- La región ha experimentado procesos de cambios muy dinámicos, sustentados fundamentalmente en el crecimiento de las superficies artificiales en detrimento de las superficies agrícolas.
- El desarrollo económico de la CM se ha debido a su condición de capitalidad y a su localización central dentro de la Península Ibérica. Los cambios de usos del suelo que ha experimentado son la plasmación de las políticas de desarrollo sobre el territorio.
- Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que la CM presenta un proceso acelerado de cambio, liderado por una artificialización de la región. Así, en casi tres décadas, las superficies artificiales han pasado de suponer 58.141 ha. en el año 1982 a conformar 114.652 ha. en el año 2006.
- Este crecimiento y, en particular, el que se ha experimentado en los últimos años, no se ha dado sólo en esta región sino que ha sido generalizado para todo el país; así, el ya extinguido Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE) publicó en 2010 un informe en el que se señalaba que, el periodo comprendido entre los años 2000 y 2006, podía ser considerado como el de mayor desarrollo urbanístico y de infraestructuras de la historia de nuestro país. Según los datos recogidos en este trabajo, esto puede ser trasladado también a lo que ha sucedido en la CM.
- Las áreas próximas a la metrópoli se han ocupado velozmente mediante el trazado de infraestructuras de transporte que han fragmentado el medio natural. Este gran crecimiento experimentado en el viario ha estado vinculado con el interés, por parte de las administraciones regionales, por construir infraestructuras de gran capacidad para el transporte privado como instrumento al servicio de su política de difusión de la actividad económica fuera del municipio de Madrid, como detallan Fernández Güell (2008) y Valenzuela (2010).
- La expansión urbana se ha dado de forma descontrolada³⁷ y se ha producido, principalmente, a costa de la pérdida de usos agrícolas; dicha expansión ha transformado mucha más superficie de cultivo de la que

³⁷ Se habla de expansión urbana descontrolada cuando la tasa de cambio de uso del suelo rústico a urbano es superior a la tasa de crecimiento demográfico.

ocupa, al promover cambios en la calificación y clasificación de los usos del suelo, incentivando así el abandono de suelos labrados, que han sido invadidos por vegetación arbustiva.

- Gran parte de esta expansión urbana advertida ha sido de tipo disperso; así, en poco más de dos décadas, el tejido urbano discontinuo se ha duplicado, pasando de ocupar 28.941ha., en 1982, a 53.240 en 2006. Esta tipología de uso del suelo se localiza, mayormente, cerca de entornos naturales con alto valor paisajístico.
- Por otra parte, si la trayectoria mantenida en la región durante las décadas anteriores se prolongase hasta el año 2025, la CM registraría una superficie ocupada por áreas artificiales cercana al 16% de su territorio, lo que equivaldría a más de 134.000 hectáreas.
- El crecimiento urbano en forma de *sprawl* tiene un impacto directo sobre la biodiversidad, ya que ocasiona la fragmentación de hábitats y la aparición de infraestructuras y de diferentes actividades cerca de áreas con alto valor ambiental.
- La presencia de una gran área metropolitana, como es la de Madrid, se traduce, además, en una gran producción de residuos urbanos e industriales y en la sobreexplotación de los recursos naturales.
- La detracción del suelo y la presión del uso público y/o recreativo son dos de las principales amenazas que pueden incidir negativamente sobre la conservación de los espacios naturales protegidos de la región
- A pesar de todo ello, la CM sigue conservando un importante número de espacios naturales de incuestionable valor ecológico, bajo diversas figuras de protección. Un reto importante que se plantea a los gestores autonómicos es asegurar la eficacia de estas áreas protegidas, con objeto de que sean capaces de preservar los valores ambientales por los que fueron protegidas en el marco de una red ecológica de ámbito regional, nacional y europeo.
- Cada vez es más urgente una legislación de suelo y urbanística que haga sostenible social, económica y ambientalmente la artificialización del territorio. Esto es de vital importancia ya que, tal y como indican Lambin y Geist (2006), la urbanización y los cambios asociados a un modelo diferente en el estilo de vida es probable que se conviertan en el factor dominante de los cambios de usos del suelo en las próximas décadas.
- La región de Madrid presenta un alto nivel de desarrollo económico. Una vez logrado y mantenido este estado, se debe apostar por equilibrar el modelo productivo y esto pasa, indefectiblemente, por políticas

conciliadoras e integradoras que sean capaces de alcanzar un nivel de vida óptimo para la toda la población bajo un contexto sostenible, en el que la calidad de los recursos naturales y de los seres vivos, del aire, del agua, de los alimentos, el control de la contaminación y de los residuos, etc. sean también necesidades inmediatas.

- Corregir las deficiencias causadas durante estas décadas pasadas es responsabilidad de los diferentes estamentos, los cuales deben ser capaces de dar una solución a los problemas generados por errores cometidos en la OT. En manos de los actores responsables de la planificación está apostar por un crecimiento que dialogue con el respeto al medio natural.
- Una gestión sostenible de la tierra debe representar a todas las clases de uso de la tierra y de todos los sectores económicos; debe mejorar el rendimiento económico del lugar pero manteniendo la calidad y las funciones ambientales de los recursos naturales y la preservación cultural de los paisajes.
- Es, por ello, necesaria una continua observación de los cambios ambientales en el tiempo y en el espacio, con el objetivo de apoyar la eficacia de políticas encaminadas a la sostenibilidad y al respeto no sólo de los usos forestales, sino también de los cultivos tradicionales de la región, pues también son parte del patrimonio.
- Un ejemplo de política medioambiental que podría ser implementada, es la construcción de las denominadas infraestructuras verdes. Ya se ha mencionado cómo las carreteras y otras infraestructuras erosionan y fragmentan hábitats valiosos, por lo que una medida encaminada a corregir estos impactos puede ser la construcción de infraestructuras verdes; éstas consisten en puentes o pasos que conectan áreas naturales que han sido divididas artificialmente por carreteras o vías férreas; de esta manera se permitiría el movimiento de animales así como la propagación de especies animales y vegetales. Los propios habitantes también pueden beneficiarse de ello, no solo por el aprovechamiento de estas zonas como áreas recreativas, sino también por los diferentes efectos que pueden tener, como puede ser una mejora de la contaminación ambiental o de la contaminación acústica.
- El camino debe hacerse, por tanto, hacia un nuevo desarrollo territorial, más acorde con la sostenibilidad, tanto ambiental como económica y social. Los futuros planes de OT de la región y los planes de urbanismo municipales deberían tener como principal meta la consecución de estos objetivos, tanto a corto como a medio y largo plazo. Solo desde un posicionamiento en pro de la sostenibilidad y racionalidad se puede entender el diseño de la planificación de los usos del suelo.

- La actual crisis económica no sólo es una lacra para el crecimiento económico y social de la región, también debe comportar un estímulo y una oportunidad para virar el modelo productivo y apostar por energías limpias y diversificar el crecimiento asociado a la actividad constructora, mediante la implantación de políticas armónicas y no agresivas que favorezcan un crecimiento proporcionado y respetuoso con el medio ambiente, y que apuesten por el patrimonio cultural, a veces intangible, que es la identidad de las regiones, expresada en su idiosincrasia.
- Sin embargo, no parece que esto vaya a materializarse en un futuro próximo, ya que se constata que no se ha aprendido de los errores del pasado, pues se continúa incentivando un crecimiento donde los beneficios se puedan obtener rápidamente, basado en la artificialización de superficies; un ejemplo claro es el futuro desarrollo del proyecto Eurovegas en el municipio de Alcorcón, cuyo complejo ocupará una superficie de 751 hectáreas.

7.2 POSIBLES LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO

Algunos de los análisis que pueden llevarse a cabo en el futuro con el objetivo de obtener un mayor conocimiento sobre los procesos acontecidos, son:

- Una recopilación y un análisis más detallado de los factores explicativos de los cambios de usos del suelo que se han producido, que incluya más número de variables, tanto socioeconómicas y demográficas como ambientales y climáticas, así como su estudio mediante otras técnicas estadísticas.
- La inclusión de información relevante y factores presentes en otras provincias sobre las que la región de Madrid tiene gran influencia (Guadalajara, Segovia, Ávila y Toledo), ya que, como señalan diversos autores (García Palomares y Gutiérrez Puebla, 2007; Méndez y Rodríguez Moya, 2007; Valenzuela, 2010), la región funcional de Madrid va más allá de los límites administrativos.
- En esta línea, realizar un análisis multi-escalar, ampliando el estudio a las provincias colindantes y/o realizando un análisis más detallado por municipios.
- Enlazar los estudios de cambios de usos del suelo y de proyecciones a futuro con estudios de vulnerabilidad ecológica, con el objetivo de evaluar los impactos que los cambios de usos del suelo tienen sobre la sociedad, sobre los servicios a los ecosistemas (en los recursos hídricos, en el ciclo del carbono) y sobre el funcionamiento propio del ecosistema (movimiento de especies, diversidad, fragmentación de hábitats).

- La incorporación de diferentes agentes encargados de la planificación y de la OT en la CM, tanto en el proceso de elaboración de los modelos como en su análisis, calibración, validación y resultados.
- La inclusión de futuras vías de transporte en los modelos de simulaciones a futuro permitirá mejorar la veracidad de éstos. El nuevo Plan de Infraestructuras, Transportes y Vivienda (PITVI), con un escenario de 2012-2024, no pudo ser consultado hasta finales del año 2012, ya que, fue el 26 de septiembre de 2012, cuando el Ministerio de Fomento redactó el documento inicial para la presentación institucional y participación pública de dicho plan. Los escenarios realizados en este trabajo ya habían sido elaborados. No obstante, en trabajos futuros esta información, de gran utilidad, debería ser incorporada; algunos de los ejemplos de nuevos tramos, según lo especificado en los mapas publicados por Geotren³⁸, son: construcción de una autovía de conexión entre la A-1 y la A-2, entre El Molar y Guadalajara; RM-1 entre la M-50 y El Molar, siguiendo un trazado paralelo a la A-1; o ampliación de la R-3 hasta Tarancón.
- Realizar posibles sugerencias encaminadas a una planificación más sostenible del territorio madrileño.
- Transferir los resultados obtenidos en este estudio a los gestores de la Comunidad de Madrid.

En definitiva, hay que tener en cuenta que el presente estudio no está libre de incorrecciones generadas por factores técnicos y también por la propia falibilidad humana. Los resultados obtenidos utilizando el dato de 1982 deben tomarse con cautela, ya que se trata de una fuente cartográfica que difiere tanto metodológicamente como espacial y temáticamente con los otros tres datos utilizados en este trabajo, es decir, con los mapas de CORINE Land Cover, a pesar del laborioso trabajo de reclasificación de su leyenda y generalización de su contenido. Del mismo modo, por ejemplo, los paisajes heterogéneos o con mosaicos, tienden a introducir efectos no lineales a la hora de obtener valores estadísticos y pueden ser fuentes de errores también a la hora de cartografiarlos.

Asimismo, la futura planificación y OT puede cambiar la trayectoria observada, de forma positiva o negativa. Un giro en ésta puede variar o alterar los resultados obtenidos en los escenarios, tal y como muestran los siguientes ejemplos publicados recientemente en prensa escrita:

- El 12 de diciembre de 2012 se publica la noticia de la sentencia del Tribunal Supremo por la que se declara nulo de pleno derecho el Plan

³⁸ www.geotren.es

Rector de Uso y Gestión (PRUG) del Parque Regional en torno a los ejes de los cursos bajos de los ríos Manzanares y Jarama³⁹, conocido también como Parque Regional del Sureste, por vulnerar la Ley de Patrimonio Natural y Biodiversidad. Contra esta sentencia no cabe recurso, por lo que se deberá aprobar un nuevo PRUG. A día 7 de agosto de 2013, la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio sigue teniendo disponible dicho texto en su página web. Las restricciones de usos indicadas en el PRUG, ahora anulado, fueron incorporadas en las simulaciones de escenarios realizadas.

- En un artículo de opinión del periódico El País, del día 20 de marzo de 2013, escrito por la profesora e investigadora Josefina Gómez Mendoza⁴⁰, se comenta la posible venta, en la Comunidad de Castilla-La Mancha, “*de los montes de utilidad pública que en principio son inalienables, imprescriptibles e inembargables, tal y como establece la Constitución en su artículo 132 y la Ley de Montes vigente*”. Esto podría trasladarse en un futuro también a la CM.
- El periódico El País alertaba, en una noticia del 25 de marzo de 2013, que la nueva ley de Montes podría abrir la puerta a la recalificación de bosques quemados⁴¹, ya que en éstos “*con carácter excepcional las Comunidades Autónomas podrán acordar cambio de uso forestal cuando concorra un interés general prevalente*”. En los escenarios se ha especificado que las áreas quemadas se mantendrán estables o con evolución hacia matorral o bosque durante los siguientes 30 años.
- Los suelos clasificados como urbanizables, donde no se prevea un uso urbanizable inmediato, podrían volver a ser protegidos siendo calificados de nuevo como suelo rústico, tal y como detalla una noticia aparecida en el periódico El País del 30 de julio de 2013⁴². En ella, se comenta que la organización SEO Bird Life ha pedido que se incluya una cláusula en la Ley del Suelo para que toda la superficie urbanizable que no se haya desarrollado en 10 años vuelva a su estado habitual, con el objetivo de proteger el excedente de suelo urbanizable que se ha generado.

Por otra parte, la publicación de información cartográfica reciente y relevante respecto a usos del suelo y/o a posibles factores explicativos de los cambios, a una escala temporal y espacial apropiada para el estudio realizado, como puede ser la información derivada de CORINE Land Cover 2012 o el ya mencionado PITVI, permitiría una actualización de los resultados aquí obtenidos.

³⁹ <http://www.ecologistasenaccion.org/article24633.html>

⁴⁰ http://elpais.com/elpais/2013/03/06/opinion/1362573390_582098.html

⁴¹ http://sociedad.elpais.com/sociedad/2013/03/25/actualidad/1364244845_764252.html

⁴² http://sociedad.elpais.com/sociedad/2013/07/30/actualidad/1375204232_340608.html

CHAPTER 7. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

General conclusions:

- The information incorporated in this work and its results demonstrate the importance and usefulness of carrying out land use (LU) change analysis and LU simulations in planning and land management processes.
- Land uses can act as climate regulators and are supported of different ecosystem functions. A poor management of these can cause negative impacts, such as increasing greenhouse gases, biodiversity loss, habitat destruction, landscape degradation and fragmentation, pollination decline, soil quality degradation, floods, etc.
- That is why changes in land use or land cover (LULC) plays a key role in economic and social development at local, regional and even global scales. The study of LULC dynamics allows the analysis of environmental processes.
- LU scenarios can anticipate LU change patterns that can be expected and illustrate how different policies can impact and affect differently on the territory.
- Maps generated with different sources and different methodology should be examined and processed previously. A cartographic generalization and homogenization must be carry out, both thematically and spatially, in order to eliminate possible inconsistencies and unexpected results

A number of uncertainties and challenges facing this field are presented.

Uncertainties:

- ✓ LU classes definition has a significant effect on the model output, especially in models that attempt to capture processes, not just change. Also, having numerous LU classes can reduce the accuracy of the model due to the difficulty of capturing processes that are not common (Conway, 2009). Also, having just one LU class, and therefore just presence and absence, can generate less error in predicting change, since there is less chance to be converted to a wrong category.
- ✓ Resolution is a decisive factor. Rindfuss et al. (2004) pointed that the spatial resolution affects the size of the plot that can be observed; temporal resolution determines the dynamics that can be observed; spectral resolution affect the discrimination of the state of the landscape and its condition; and radiometric resolution determines the precision in differentiating different LU and land cover (LULC) types.

- ✓ Most LU change and simulation studies have been developed at pixel level. A pixel, due to its shape, can not represent the curvatures of the polygons and as Rae et al, (2007) said, when converting data from vector to raster, a considerable amount of information can be lost.
- ✓ There is a big difficulty to unravel different human, social, economic, political, environmental or biophysical processes that lead to changes in LU, as there are profuse and wide-ranging factors to be considered.
- ✓ Spatial autocorrelation in LU patterns can lead to a lack of independence in the observations. This autocorrelation can be explained, in large part, by the cluster type distribution of landscape features and environmental conditions related to LU patterns; another reason is the spatial interactions between different land uses (eg. urban growth takes place normally around existing urban areas). In many cases, models also reveal multicollinearity. The presence of multicollinearity and autocorrelation implies the exclusion of large number of variables that may be critical in understanding the dynamics of LU (Plata Rocha, 2010), but Briassoulis (2006) said that *“this is a problem when using models to explain, but when used to predict”*.
- ✓ Models are limited by data availability. Furthermore, as indicated by Agarwal et al. (2002), it must be taken into account that *“any land use change model is limited by the person or the people who build it, according to their training and financing limit”* and the possibility of having or generating consistent data.

Challenges:

- ✓ The production of a LU standard thematic cartography at different spatial scales could lead in comparative analyses between different areas, regions or countries. A standard cartography such as CORINE Land Cover in Europe is very important because allows the comparison of the dynamics of LULC over time in different geographical areas, due to a homogeneous thematic legend. In Spain, the program SIOSE has a finer scale and its purpose is to continue conducting mapping of LULC at various points in time.
- ✓ Most LU models are based on a single spatial scale. However, as proposed by Verburg et al. (2004d) it is needed a new generation of LU models to address Earth system multi-scalar characteristics and to archive a higher level of integration between different disciplinary approaches.
- ✓ Agent-based models have become one of the most used tools for understanding decision-making. As indicated by Zondag and Borsboom

(2009), changes in social classes or in the stakeholder's behavior can be reflected for example, in different LU demands or changes in LU locations.

- ✓ A broaden and deepen stakeholder participation is, therefore, necessary. The commitment of agents is essential to carry out desired futures. Not only politicians and policy makers has to be involved, but also NGOs and businessmen with interests in LU, including the ones interested on the environment.
- ✓ Moreover, researchers need to work together with politicians and actors involved in local and regional planning to indentify and, in many cases, develop, test and validate policies that influence the patters and the speed of LU changes. Reid et al. (2006) note that a connection between policy-makers, local communities and scientist reduce the risk of unexpected changes in unexpected places and strength the process of land management.
- ✓ Future LULC simulations need to be taken at different periods of time, from short periods for policy design and implementation, to medium and long term to observe the effects of climate, social, economic and technological factors.
- ✓ Additionally, there are several studies where validation is absent. In addition, there is no unanimity in the form in which this process has to be done. Model validation should be standard and, for this reason, it is important to be in agreement on what techniques or statistics has to be used in different studies to be able to compare the results.
- ✓ This kind of studies can be linked to other studies such those ones related with landscape ecology or ecosystem services.

Regarding to the processes that occurred in the region of Madrid we can say that:

- The economic development of the region has been related to its status as capital of Spain and its central location within the Iberian Peninsula.
- The region has experienced large dynamic processes. Biggest changes are associated with a rapid development of urbanization and of the transport system and the large losses in agricultural land.
- Urban expansion has been out of control: the urban growth rate has been higher that the population growth rate.
- Areas around the metropolis have changed swiftly because of the transport infrastructure growth which has fragmented the landscape.

- The presence of a large metropolitan area, such as Madrid, leads to large amount of urban and industrial waste, an overexploitation of natural resources, etc.
- The region of Madrid has a large number of natural protected areas with an unquestionable ecological value. A major challenge is to ensure the effectiveness of these protected areas, in order to preserve its environmental values.
- It is urgent a planning legislation focused on social, economic and environmental sustainability. Future plans should have as its main goal the achievement of these objectives.

Future work:

In the near future some analyses that can be carried out are:

- A compilation and more detailed analysis of LU change driving factors, using a larger number of variables, and other statistical techniques.
- Incorporation of relevant information and driving factors of other provinces near Madrid, in which the region has influence (Guadalajara, Segovia, Ávila, Toledo) since, as pointed out by several authors (García Palomares and Gutiérrez Puebla, 2007; Méndez and Rodríguez Moya, 2007; Valenzuela, 2010) the functional region of Madrid operates beyond its administrative limits.
- Perform a multiscale analysis, extending the study to neighboring provinces and/or performing a more detailed analysis by municipalities.
- Linking LU changes and future simulations with ecological vulnerability studies, with the aim of assessing the impacts of LU changes on society, on ecosystems services and on species diversity, habitat fragmentation, etc.
- Incorporation of agents and planners in the analyses.

As a final point, it must be said that this study is not free of inaccuracies generated by technical facts and also by human fallibility. By example, results obtained using 1982 data should be taken with caution as it is a cartographic data that differ spatially, methodologically and thematically with the other three data used in this work (CORINE Land Cover maps), despite to the hard work that has been done to generalize and standardize this data. Future planning can change the trajectory observed, and this may vary or alter the scenarios results.

BIBLIOGRAFÍA

- AA.VV. 2002. Atlas de la Comunidad de Madrid en el umbral del siglo XXI. Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid, Madrid. 185 pp.
- Agarwal, C., G.L. Green, J.M. Grove, T. Evans, and C. Schweik. 2002. A review and assessment of land use change models. Dynamics of space, time and human choice. United States Department of Agriculture, Forest Services. 67 pp.
- Aguilera, F., A. Ruiz Matarán, R. Campaña Pérez, and L.M. Montes Valenzuela. 2008. Simulating greenhouse growth in urban zoning on the coast of Granada (Spain). *In* Modelling Environmental Dynamics. Advances in Geomatic Solutions. M. Paegelow and M.T. Camacho Olmedo, editors. Springer Berlin Heidelberg. 269-295.
- Aguilera Benavente, F. 2008. Análisis espacial para la ordenación eco-paisajística de la aglomeración urbana de Granada. *In* Tesis Doctoral. Departamento de Expresión Gráfica, Arquitectónica y en la Ingeniería. Universidad de Granada, Granada. 377 pp.
- Aguilera Benavente, F., W. Plata Rocha, J. Bosque Sendra, and M. Gómez Delgado. 2009. Diseño y simulación de escenarios de demanda de suelo urbano en ámbitos metropolitanos. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*. 4:57-190.
- Aguilera Benavente, F., M. Gómez Delgado, and C. Carvalho Cantergiani. 2010. Instrumentos de simulación prospectiva del crecimiento urbano futuro. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*. Vol. 165-166: 481-496.
- Aitkenhead, M.J., and I.H. Aalders. 2009. Predicting land cover using GIS, Bayesian and evolutionary algorithm methods. *Journal of Environmental Management*. 90:236-250.
- Alcamo, J., K. Kok, G. Busch, and J.A. Priess. 2006. Searching from the future of land: scenarios from the local to global scale. *In* Land-use and land-cover change. Local processes and Global Impacts. E.F. Lambin and H.J. Geist, editors. Springer, Berlin. 137-156.
- Aldwaik, S.Z., and R.G. Pontius Jr. 2012. Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category and transition. *Landscape and Urban Planning*. 106:103-114.
- Aldwaik, S.Z., and R.G. Pontius Jr. 2013. Map errors that could account for deviations from a uniform intensity of land change. *International Journal of Geographical Information Sciences*:1-23.

- Aldwaik, S.Z., R.G. Pontius Jr, and J.A. Onsted. review. Sequential land category aggregations to maintain maximum change over time.1-23.
- Angnes, A.D. 2005. Cartografía de los cambios en las cubiertas artificiales de la Comunidad de Madrid, España (1987-1997). *Revista Forestal Latinoamericana*. 37:59-86.
- Arnáez, J., M. Oserin, L. Ortigosa, and T. Lasanta. 2008. Cambios en la cubierta vegetal y usos del suelo en el sistema ibérico noroccidental entre 1956 y 2001: Los Cameros (La Rioja, España). *Boletín de la A.G.E.* 47:195-211.
- Bahamonde, Á., and L.E. Otero Carvajal. 1989. Madrid, de territorio fronterizo a región metropolitana. *In* España. Autonomías. Tomo V. J.P. Fusi, editor. Espasa Calpe, Madrid. 517-616.
- Barreira, P., V. González Cascon, and J. Bosque Sendra. 2012. Detección de errores temáticos en el CORINE Land Cover a través del estudio de cambios: Comunidad de Madrid (2000-2006). *Estudios Geográficos*. 73:7-34.
- Barrios, I., R. Romero Calcerrada, and J. Montero-Serrano. 2008. Efecto de la dinámica territorial (1990-2000) sobre los Espacios Naturales Protegidos de la Comunidad de Madrid. *In* XI Coloquio Ibérico de Geografía. La perspectiva geográfica ante los nuevos retos de la sociedad y el medio ambiente en el contexto ibérico. V.P. A. Galve and V.M. Rodriguez, editors. Universidad de Alcalá, Alcalá - Pastrana. 1-16.
- Baskent, E.Z., and A.I. Kadiogullari. 2007. Spatial and temporal dynamics of land use pattern in Turkey: a case study in Inegöl. *Landscape and Urban Planning*. 81:316-327.
- Baulies, X., G. Szejwach (Eds.) 1998. LUC data requirements workshop. Survey of needs, gaps and priorities on data for land-use/land-cover change research. *In* LUC Report Series No. 3. Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona. 143 pp.
- Bell, E.J. 1974. Markov analysis of land use change - an application of stochastic processes to remotely sensed data. *Socio-Economic Planning Sciences*. 8:311-316.
- Benabent, M. 2006. La ordenación del Territorio en España. Evolución del concepto y su práctica en el siglo XX. Universidad de Sevilla y Consejería de Obras Públicas y Transporte, Junta de Andalucía. 455 pp.
- Berberoglu, S., and A. Akin. 2009. Assessing different remote sensing techniques to detect land use/cover changes in the eastern

Mediterranean. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 11:46-53.

- Bodega Fernández, M.I., E. Chuvieco, J. Gutiérrez Puebla, S. Gutiérrez Ronco, M.A. Marín Lou, J. Muñoz Muñoz, and J.M. Casas Torres. 1983. La población. *In* Madrid. El campo. Boletín de Información agraria. . Banco de Bilbao, Bilbao. 22-31.
- Bohnet, I. 2008. Assessing retrospective and prospective landscape change through the development of social profiles of landholders: A tool for improving land use planning and policy formulation. *Landscape and Urban Planning*. 88:1-11.
- Bormann, H., Breuer, L., Gräff, T. and Huismann, J.A. 2007. Analysing the effects of soil properties changes associated with land use changes on the simulated water balance: a comparison of three hydrological catchment models for scenario analysis. *Ecological Modelling*. 209:29-40.
- Brannstrom, C., W. Jepson, A.M. Filippi, D. Redo, Z. Xu, and S. Ganesh. 2008. Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986-2002: Comparative analysis and implications for land-use policy. *Land Use Policy*. 25:579-595.
- Briassoulis, H. 2000. Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches. *In* The Web Book of Regional Science. S. Loveridge, editor. Regional Research Institute, West Virginia University, Morgantown. <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>
- Briceño, F. 2003. Cambios en la cobertura de la tierra en el valle del río Momboy, Estado de Trujillo. *Geoenseñanza*. 8:91-110.
- Brown, D.G., P. Goovaerts, A. Burnicki, and M. Li. 2002. Stochastic simulation of land-cover change using geostatistics and generalized additive models. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 65:1051-1061.
- Burnicki, A.C., D.G. Brown, and P. Goovaerts. 2007. Simulating error propagation in land-cover change analysis: The implications of temporal dependence. *Computers, Environment and Urban Systems*. 31:282-302.
- Burnicki, A., D.G. Brown, and P. Goovaerts. 2010. Propagating error in land-cover-change analyses: impact of temporal dependence under increased thematic complexity. *International Journal of Geographical Information Science*. 24:1043-1060.

- Burriel, E.L. 2011. Subversion of land-use plans and the housing bubble in Spain. *Urban Research & Practice*. 4:232-249.
- Busch, G. 2006. Future european agricultural landscapes. What can we learn from existing quantitative land use scenarios studies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 114:121-140.
- Cakir, H.I., S. Khorram, and S.A.C. Nelson. 2006. Correspondence analysis for detecting land cover change. *Remote Sensing of Environment*. 102:306-317.
- Camacho, F., S. Lanjeri, J. Vayá, G. Ruiz, B. Martínez, J.C. Jimenez, L. Alonso, and J. Gonzalez-Piqueras. 2008. Cartografía medioambiental en tiempo real a partir de datos de teledetección y tecnologías de la información. In XIII Congreso nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. L.P. Hernández, J.M., editor, Las Palmas de Gran Canaria. 215-225.
- Canosa Zamora, E. 1995. La promoción inmobiliaria en la periferia noreste de Madrid. Ministerio de Economía y Hacienda., Madrid. 233 pp.
- Cantarino, I. 2013. Elaboración y validación de un modelo jerárquico derivado de SIOSE. *Revista de Teledetección*. 39:5-21.
- Cardille, J.A., and J.A. Foley. 2003. Agricultural land-use change in Brazilian Amazônia between 1980 and 1995: Evidence from integrated satellite and census data. *Remote Sensing of Environment*. 87:551-562.
- Castelan, R., Ruíz, J., Linares, G., Pérez, R. and Tamariz, V. 2007. Dinámica de cambio espacio-temporal de uso del suelo de la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía UNAM*. 64:75-89.
- Castella, J.-C., S.P. Kam, D.D. Quang, P.H. Verburg, and C.T. Hoanh. 2007. Combining top-down and bottom-up modelling approaches of land use/cover change to support public policies: Application to sustainable management of natural resources in northern Vietnam. *Land Use Policy*. 24:531-545.
- Castella, J.-C., and P.H. Verburg. 2007. Combination of process-oriented and pattern-oriented models of land-use change in a mountain area of Vietnam. *Ecological Modelling*. 202:410-420.
- Catalá Mateo, R., Bosque Sendra, J. and Plata Rocha, W. 2008. Análisis de posibles errores en la base de datos Corine Land Cover (1990-2000) en la Comunidad de Madrid. *Estudios Geográficos*. 49:81-104.
- CEC. 1994a. CORINE Land Cover- part 1. Methodology. Commission of the European Communities. 94 pp.

- CEC. 1994b. CORINE Land Cover- part 2. Nomenclature. Commission of the European Communities. 20 pp.
- CEC. 1997. Technical and methodological guide for updating CORINE Land Cover data base. Commission of the European Communities. 140 pp.
- Celada, F. 2009. Nuevas tendencias de localización de las actividades económicas en la Comunidad de Madrid. *Urban.* 14:92-100.
- Chen, H., and R.G. Pontius Jr. 2011. Sensitivity of a Land Change Model to Pixel Resolution and Precision of the Independent variable. *Environmental Modelling & Software.* 16:37-52.
- Chen, L., I. Messing, S. Zhang, B. Fu, and S. Ledin. 2003. Land use evaluation and scenario analysis towards sustainable planning on the Loess Plateau in China--case study in a small catchment. *CATENA.* 54:303-316.
- Chen, X. 2002. Using remote sensing and GIS to analyse land cover change and its impacts on regional sustainable development. *International Journal of Remote Sensing.* 23:107-124.
- Chicharro, E., and J. Córdoba. 1983. Incidencia del aeropuerto. *In* Madrid. El campo. Boletín de Información agraria. Banco de Bilbao, Bilbao. 110-115.
- Cihlar, J.J., and L.J.M. Jansen. 2001. From Land Cover to Land Use: A methodology for efficient land use mapping over large areas. *Professional Geographer.* 53:275-289.
- Comunidad de Madrid. 1984. Mapa de formaciones vegetales y usos actuales del suelo de Madrid. Memoria. Madrid. 56 pp.
- Comunidad de Madrid. 1985. Directrices de ordenación territorial: documento previo. Consejería de Ordenación del Territorio, Medio Ambiente y Vivienda. Comunidad de Madrid. Madrid. 218 pp.
- Comunidad de Madrid. 1990. Madrid Región Metropolitana: actuaciones y estrategias. Oficina de Planeamiento Territorial. Comunidad de Madrid. 807 pp.
- Comunidad de Madrid. 1991. Madrid región metropolitana: estrategia territorial y actuaciones. Consejería de Política Territorial. Comunidad de Madrid. 223 pp.
- Comunidad de Madrid. Anuario Estadístico de la Comunidad de Madrid. 1985-2012. Población y hogares. Instituto de Estadística. Consejería de

Economía y Hacienda. comunidad de Madrid.
<http://www.madrid.org/iestadis/fijas/estructu/general/anuario/ianu.htm>

- Congalton, R.G, and K. Green. 1993. A practical look at the sources of confusion in error matrix generation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 59:641-644.
- Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. 2007. Atlas. El Medio Ambiente en la Comunidad de Madrid. Dirección General de Promoción y Disciplina Ambiental. Madrid. 83 pp.
- Conway, T.M. 2009. The impact of class resolution in land use change models. *Computers, Environment and Urban Systems*. 33:269-277.
- COPLACO. 1980. Informe sobre ordenación del territorio en el Área Metropolitana de Madrid. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid. 207 pp.
- COPLACO. 1981. Directrices de planeamiento territorial urbanístico para la revisión del plan general del área metropolitana de Madrid. Comisión de Planeamiento y Coordinación del Área Metropolitana de Madrid. Comunidad de Madrid. 574 pp.
- Costanza, R. 1989. Model goodness of fit: A multiple resolution procedure. *Ecological Modelling*. 47:199-215.
- Cousins, S.A.O. 2001. Analysis of land-cover transitions based on 17th and 18th century cadastral maps and aerial photographs. *Landscape Ecology*. 16:41-54.
- de Aranzabal, I., M.F. Schmitz, P. Aguilera, and F.D. Pineda. 2008. Modelling of landscape changes derived from the dynamics of socio-ecological systems: A case of study in a semiarid Mediterranean landscape. *Ecological Indicators*. 8:672-685.
- de Barros, S.F., C.A. Vettorazzi, D.M. Theobald, and M.V. Ramos Ballester. 2005. Landscape dynamics of Amazonian deforestation between 1984 and 2002 in central Rondônia, Brazil: assessment and future scenarios. *Forest Ecology and Management*. 204:69-85.
- de la Riva, J.M., A.J. Palacios García, and J. Vinuesa Angulo. 2011. Demanda de vivienda, crecimiento residencial y segregación socio-espacial: El caso de los PAUs madrileños. In XXII Congreso de Geógrafos Españoles. V. Gozávez and J.A. Marco, editors, Universidad de Alicante. 191-202.

- de Santiago, E. 2008a. Infraestructuras, planeamiento y modelo territorial en la Comunidad de Madrid. *In* I Congreso de Urbanismo y Ordenación del Territorio. C.y.P. Colegio de Ingenieros de Caminos, Bilbao. 1-30.
- de Santiago, E. 2008b. Madrid “ciudad única” (II). La explosión urbana en la región madrileña y sus efectos colaterales. *Urban.* 13:138-164.
- Díaz-Pacheco, J., and J. Gutiérrez. 2013. Exploring the limitations of CORINE Land Cover for monitoring urban land-use dynamics in metropolitan areas. *Journal of Land Use Science.* <http://dx.doi.org/10.1080/1747423X.2012.761736>.
- Ding, H., R. Wang, J. Wu, B. Zhou, Z. Shi, and L. Ding. 2007. Quantifying land use change in Zhejiang Coastal Region, China, using multi-temporal Landsat TM/EMT+ images. *Pedosphere.* 17 pp.
- Dupuy, J.M., J.A. Gonzalez, S. Iriarte, L.M. Calvo, C. Espadas, F. Tun, and A. Dorantes. 2007. Cambios de cobertura y uso de suelo (1979-2000) en dos comunidades rurales en el noroeste de Quintana Roo. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía UNAM.* 62:104-125.
- Eastman, J.R. 2007. La verticalización de los Sistemas de Información Geográfica. *In* IX Conferencia Iberoamericana de SIG. Dep. de Cc.Sociales, Universidad de Lujan, Argentina. 183-195.
- Eastman, J.R. 2012. IDRISI Selva. Guía para SIG y procesamiento de imágenes. Vol. 17. Clark University. 321 pp.
- EEA. 2000. CORINE Land cover technical guide – Addendum 2000. *In* Technical report, No 40. European Environment Agency. 105 pp.
- EEA. 2001. Towards spatial and territorial indicators using land cover data. *In* Technical Report. Vol. 49, European Environment Agency, Copenhagen. 49 pp.
- EEA. 2006. Land accounts for Europe 1990-2000. *In* EEA Technical Report. Vol. 11, European Environment Agency, Copenhagen. 107 pp.
- EEA. 2007a. CLC2006 Technical guidelines. *In* EEA Technical report, No. 17/2007. European Environment Agency. 70 pp.
- EEA. 2007b. Land use for Europe: quantitative analysis on a European scale. (PRELUDE). *In*: Technical report, No.9/2007. European Environment Agency. 78 pp.

- EEA. 2007c. Land-use scenarios for Europe: qualitative and quantitative analysis on a European scale. *In* EEA Technical report. Vol. No 9, European Environment Agency, Copenhagen. 76 pp.
- EEA. 2010. The territorial dimension of environmental sustainability. Potential territorial indicators to support the environmental dimension of territorial cohesion. *In* EEA Technical report. Vol. 9, European Environment Agency, Copenhagen. 96 pp.
- EEA. 2011. Landscape fragmentation in Europe. *In* EEA Report. Vol. 2, European Environment Agency, Copenhagen. 92 pp.
- Engelen, G., C. Lavalle, J.I. Barredo, M. van der Meulen, and R. White. 2007. The Moland modelling framework for urban and regional land-use dynamics. *In* Modelling Land-Use Change. Progress and Application. E. Koomen, J. Stillwell, A. Bakema, and H.J. Scholten, editors. Springer. 297-320.
- ESPON. 2007. Scenarios on the territorial future of Europe. European Union. ESPON 2006 Programme, Belgium. 69 pp.
- Esser, G. 1989. Global land-use changes from 1860 to 1980 and future projections to 2500. *Ecological Modelling*. 44:307-316.
- Estébanez, J.E. 1990. Madrid, presente y futuro. Ediciones Akal, Madrid. 264 pp.
- Etter, A., C. McAlpine, K. Wilson, S. Phinn, and H. Possingham. 2006. Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 144:369-386.
- Ewert, F., M.D.A. Rounsevell, I. Reginster, M.J. Metzger, and R. Leemans. 2005. Future scenarios of European agricultural land use: I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 107:101-116.
- F.A.O. 2005. Sistema de clasificación de la cobertura de la Tierra. Conceptos de clasificación y manual para el usuario. Versión 2 del programa. Roma. 226 pp.
- Falcucci, A., L. Maiorano, and L. Boitani. 2007. Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation. *Landscape Ecology*. 22:617-631.
- Fernández Güell, J.M. 2008. Condiciones para abordar la ordenación territorial de una región urbana dinámica: el caso de la Comunidad de Madrid. *In* I Congreso de Urbanismo y Ordenación del Territorio. C.y.P. Colegio de Ingenieros de Caminos, Bilbao. 1-21.

- Foody, G.M. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*. 80:185-201.
- Fraser, R.H., I. Olthof, and D. Pouliot. 2009. Monitoring land cover change and ecological integrity in Canada's national parks. *Remote Sensing of Environment*. 113:1397-1409.
- Gago García, C., M. Serrano Cambronero, and F.J. Antón Burgos. 2004. Repercusiones de las carreteras orbitales de la Comunidad de Madrid en los cambios de usos del suelo. *Anales de Geografía*. 24:146-167.
- Gallardo, M., and J. Martínez-Vega. 2010. Detecting land use change in Madrid, Spain, using Corine Land Cover maps. *In: Ester Boserup Conference 2010. A centennial tribute. Long-term trajectories in population, gender relations, land use and the environment*. Viena, Austria.
- Gallardo, M., and J. Martínez-Vega. 2011. The use of the CLUE model for predicting future land use in the Region of Madrid, Spain. *In: RegioResources 2011. A cross-disciplinary dialogue on sustainable development or regional resources*. Dresde, Alemania.
- Gallardo, M. and J. Martínez-Vega. 2012a. Cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid: analizando el pasado y simulando el futuro. *In XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. Tecnologías de la información geográfica en el contexto de Cambio Global*. J. Martínez-Vega and P. Martín Isabel, editors. Madrid. 305-314.
- Gallardo, M. and J. Martínez-Vega. 2012b. Estudio de la dinámica de los usos del suelo en la Comunidad de Madrid. Su importancia en la planificación territorial. *In: Conferencia Esri España*. Madrid.
- Gallo, M.T., R. Garrido, and M. Vivar. 2010. Cambios territoriales en la Comunidad de Madrid: policentrismo y dispersión. *Eure, Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales*. 36:5-26.
- García-Frapolli, E., B. Ayala-Orozco, M. Bonilla-Moheno, C. Espadas-Manrique, and G. Ramos-Fernández. 2007. Biodiversity conservation, traditional agriculture and ecotourism: Land cover/land use change projections for a natural protected area in the northeastern Yucatan Peninsula, Mexico. *Landscape and Urban Planning*. 83:137-153.
- García Alvarado, J.M., A. Navarro Madrid, J. Vinuesa Angulo, and A. Zárate Martín. 1999. Comunidad de Madrid. *In La España de las Autonomías*. J.M. García Alvarado and J.A. Sotelo Navalpotro, editors. Editorial Síntesis, Madrid. 502-556.

- García Alvarado, J.M. 2000. Capacidad potencial de uso agrario y urbanización: contribución a la geografía de la sostenibilidad de la región de Madrid. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. 20 pp.
- García Palomares, J.C., and J. Gutiérrez Puebla. 2007. La ciudad dispersa: cambios recientes en los espacios residenciales de la Comunidad de Madrid. *Anales de Geografía* 47:45-67.
- García Palomares, J.C. 2010. Urban sprawl and travel to work: the case of the metropolitan area of Madrid. *Journal of Transport Geography*. 18:197-213.
- Geist, H.J., W. McConnell, E.F. Lambin, E. Moran, D. Alves, and T. Rudel. 2006. Causes and trajectories of land-use/cover change. *In* Land-use and land-cover change. Local processes and Global Impacts. E.F. Lambin and H.J. Geist, editors. Springer, Berlin. 41-70.
- Geoghegan, J., L.J. Pritchard, Y. Ogneva-Himmelberger, R.R. Chowdhury, S. Sanderson, and B.L.I. Turner. 1998. Socializing the pixel and Pixelizing the Social in land-use and land-cover change. *In* People and Pixels: Linking remote sensing and social science. N.R.C. Staff, editor. National Academies Press, Washington, D.C. 51-69.
- Gómez-Mendoza, L., E. Vega-Peña, M.I. Ramírez, J.L. Palacio-Prieto, and L. Galicia. 2006. Projecting land-use change processes in the Sierra Norte of Oaxaca, Mexico. *Applied Geography*. 26:276-290.
- Gómez Delgado, M., and J.I. Barredo. 2005. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio. RA-MA. 304 pp.
- Gómez Jiménez, I., R. Romero Calcerrada, and J.M. Beneitez López. 2007. Consideración de la dinámica espacio-temporal para la definicion de actuaciones defensivas contra la erosión. *Geofocus*. 7 pp.
- Gómez Nieto, I., M.P. Martín, F.J. Salas, and M. Gallardo. 2012. Análisis del régimen histórico de los incendios forestales en la Comunidad de Madrid (1984-2010) y su relación con los cambios de usos del suelo. *In* XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. Tecnologías de la información geográfica en el contexto de Cambio Global. J. Martínez-Vega and P. Martín Isabel, editors. Madrid.71-82.
- Green, K., D. Kempka, and L. Lackey. 1994. Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 60 pp.

- Grijalbo Cervantes, J. 2010. Vegetación y flora de Madrid. Nayade Editorial. Madrid. 376 pp.
- Gulinck, H., M. Múgica, J.V. de Lucio, and J.A. Atauri. 2001. A framework for comparative landscape analysis and evaluation based on land cover data, with an application in the Madrid region (Spain). *Landscape and urban planning*. 55 pp.
- Gutiérrez Puebla, J. 2004. Producción de suelo industrial en la Comunidad de Madrid: expansión, dispersión y fragmentación del espacio industrial. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. 24:493-206.
- Haddock, J., J. Tzanopoulos, J. Mitchley, and R. Fraser. 2007. A method for evaluating alternative landscape management scenarios in relation to the biodiversity conservation of habitats. *Ecological Economics*. 61:277-283.
- Hagen, A. 2002. Multi-method assessment of map similarity. In 5th AGILE Conference on Geographic Information Science, Palma de Mallorca, España. 8 pp.
- Hagen, A. 2003. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. *International Journal of Geographical Information Science*. 17:235-249.
- Hagen-Zanker, A. 2006. Map comparison methods that simultaneously address overlap and structure. *Journal of Geographical Systems*. 8:165-185.
- Harvey, D. 2001. Espacios del capital. Hacia una geografía crítica. Editorial Akal, Madrid. 448 pp.
- Hazen, B.C., and M.W. Berry. 1997. The simulation of land-cover change using a distributed computing environment. *Simulation Practice and Theory*. 5:489-514.
- He, C., Y. Pan, P. Shi, X. Li, J. Chen, Y. Li, and J. Li. 2004. Developing land use scenario dynamics model by the integration of system dynamics model and cellular automata model. 2647-2650.
- Helming, K., M. Pérez-Soba, and P.E. Tabbush (Eds.) 2008. Sustainability impact assessment of land use changes. Springer, Berlin Heidelberg. 495 pp.
- Henríquez, C., G. Azócar, and M. Aguayo. 2006. Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Angeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*. 36:61-74.

- Hewitt, R., and V. Hernandez-Jimenez. 2010. Devolved regions, fragmented landscapes: the struggle for a sustainability in Madrid. *Sustainability*. 2:1252-1281.
- Hewitt, R., and F. Escobar. 2011. The territorial dynamics of fast-growing regions: Unsustainable land use change and future policy challenges in Madrid, Spain. *Applied Geography*. 31:650-667.
- Hilferink, M., and P. Rietveld. 1999. Land Use Scanner: An integrated GIS based model for long term projections of land use in urban and rural areas. *Journal of Geographical Systems*. 1:155-177.
- Hortigüela, F., A. Martín, F. Pastor, M. Román, and M.A. Troitiño. 1997. Bases para el Plan Regional de Estrategia Territorial de la Comunidad de Madrid: Análisis y valoración. *FUNDICOT*.
- Huang, J., R.G. Pontius Jr, Q. Li, and Y. Zhang. 2012. Use of intensity analysis to link patterns with processes of land change from 1986 to 2007 in a coastal watershed of woutheast China. *Applied Geography*. 34:371-384.
- IGN. 2001. Nomenclatura del CORINE Land Cover al nivel 5, CLC90. Instituto Geográfico Nacional. 15 pp
- IGN. 2002. CORINE 2000. Descripción de la nomenclatura del CORINE Land Cover al nivel 5. Instituto Geográfico Nacional. 52 pp.
- IGN. 2004. CORINE Land Cover – Proyecto I&CLC2000 España. Actualización de la base de datos Corine Land Cover Informe final. Instituto Geográfico Nacional. 62 pp.
- INE. Padrón Municipal de Habitantes, Instituto Nacional de Estadística. www.ine.es
- Izco, J. 1984. Madrid Verde. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 517 pp.
- Jansen, L.J.M. 2006. Harmonization of land use class sets to facilitate compatibility and comparability of data across space and time. *Journal of Land Use Science*. 1:127-156.
- Jansen, L.J.M., M. Bagnoli, and M. Focacci. 2008. Analysis of land-cover/use change dynamics in Manica Province in Mozambique in a period of transition (1990-2004). *Forest Ecology and Management*. 254:308-326.
- Jokar Arsanjani, J., M. Helbich, W. Kainz, and A. Darvishi Boloorani. 2013. Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 21:265-275.

- JRC. 2005. IMAGE2000 and CLC2000. Products and Methods. CORINE Land Cover updating for year 2000. Joint Research Centre. European Commission. 150 pp.
- Kok, K., A. Farrow, A. Veldkamp, and P.H. Verburg. 2001. A method and application of multi-scale validation in spatial land use models. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 85:223-238.
- Koomen, E., A. Koekoek, and D. Egbert. 2011. Simulating land-use change in a regional planning context. *Applied Spatial Analysis*. 4: 223-247.
- Kristensen, S.P., C. Thenail, and L. Kristensen. 2001. Farmers involvement in land-scape activities: an analysis of the relationship between farm location, farm characteristics and landscape change in two study areas in Jutland, Denmark. *Environmental Management*. 61:301-3018.
- Kroll, F., and D. Haase. 2010. Does demographic change affect land use patterns?: A case study from Germany. *Land Use Policy*. 27:726-737.
- Kuzera, K., and R.G. Pontius Jr. 2008. Importance of matrix construction for multiple-resolution categorical map comparison. *GIScience & Remote Sensing*. 45:249-274.
- Lambin, E.F., B.L.I. Turner, H.J. Geist, S.B. Agbola, A. Angelsen, J.W. Bruce, O.T. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P.S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E.F. Moran, M. Mortimore, P.S. Ramakrishnan, J.F. Richards, H. Skånes, W. Steffen, G.D. Stone, U. Svedin, T.A. Veldkamp, C. Vogel, and J. Xu. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*. 11:261-269.
- Lambin, E.F. and H.J. Geist, editors. 2006. Land-use and land-cover change. Local processes and global impacts. Springer, Berlin Heidelberg. 222 pp.
- Lambin, E.F., H.J. Geist, and R.R. Rindfuss. 2006. Introduction: Local processes with global impacts. *In* Land-use and land-cover change. Local processes and Global Impacts. E.F. Lambin and H.J. Geist, editors. Springer, Berlin. 1-8.
- Lausch, A., and F. Herzog. 2002. Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. *Ecological Indicators*. 2:3-15.
- Le, Q.B., S.J. Park, and P.L.G. Vlek. 2010. Land Use Dynamic Simulator (LUDAS): A multi-agent system model for simulating spatio-temporal dynamics of coupled human–landscape system: 2. Scenario-based

- application for impact assessment of land-use policies. *Ecological Informatics*. 5:203-221.
- Leal, J., and M. Domínguez. 2009. Pasado y futuro del parque de viviendas de Madrid: despejando incertidumbres. *Urban*. 14:80-90.
- Lesschen, J.P., K. Kok, P.H. Verburg, and L.H. Cammeraat. 2007. Identification of vulnerable areas for gully erosion under different scenarios of land abandonment in Southeast Spain. *CATENA*. 71:110-121.
- Li, X., and A.G. Yeh. 2002. Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*. 16:323-343.
- Lima, L., K. Zelaya, P. Laterra, H. Massone, and N. Maceira. 2011. A dynamic simulation model of land cover in the Dulce Creek Basin, Argentina. *Procedia Environmental Sciences*. 7:194-199.
- Logsdon, M.G., E.J. Bell, and F.V. Westerlund. 1996. Probability mapping of land use change: a GIS interface for visualizing transitions probabilities. *Computer, environment and urban systems*. 20:389-398.
- Loibl, W., T. Tötzer, M. Köstl, and K. Steinnocher. 2007. Simulation of polycentric urban growth dynamics through Agents. In *Modelling Land-Use Change. Progress and Applications*. E. Koomen, J. Stillwell, A. Bakema and H.J. Scholten, editors. Springer. 219-236.
- López de Lucio, R. 2000. Madrid 1979-1999. Perfiles de una transformación urbana desconocida. *Urban*. 4:106-123.
- López de Lucio, R. 2003. Transformaciones territoriales recientes en la región urbana de Madrid. *Urban* 9:124-161.
- Lu, D., P. Mausel, E. Brondizios, and E. Moran. 2004. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*. 25:2365-2407.
- Mallinis, G., D. Emmanoloudis, V. Giannakopoulos, F. Maris, and N. Koutsias. 2011. Mapping and interpreting historical land cover/land use changes in a Natura 2000 site using earth observational data: The case of Nestos delta, Greece. *Applied Geography*. 31:312-320.
- MAPA. 1985. Memoria mapa de cultivos y aprovechamientos de la provincia de Madrid. Servicio de publicaciones agrarias. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid. 94 pp.
- MAPA. 2003. Libro blanco de la agricultura y el desarrollo rural. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.

- Martínez Rodrigo, L., M. Joaniquet Tamburini, V. Pala Comellas, and R. Aribol Bertrán. 2004. Detección, confirmación y validación de cambios con series de imágenes. Aplicación a Landsat 7. *In* X Coloquio de Geografía Cuantitativa. Territorio y Medio ambiente: métodos cuantitativos y SIG. Medio ambiente, recursos y riesgos naturales: Análisis mediante Tecnología SIG y Teledetección. C. Conesa, Álvarez, Y. and Martinez, J.B., editors, Murcia. 275-286
- Martínez Vega, J., R. Romero Calcerrada, and P. Echavarría. 2007. Valoración paisajística y ecológica de la Comunidad de Madrid: su integración en un índice sintético de riesgo de incendios forestales. *Revista de Teledetección*. 28:43-60.
- Mas, J.F., and T. Fernández. 2003. Una evaluación cuantitativa de los errores en el monitoreo de los cambios de cobertura por comparación de mapas. *Investigaciones Geográficas*. 51:73-87.
- McDonald, R.I., and D.L. Urban. 2006. Spatially varying rules of landscape change: lessons from a case study. *Landscape and Urban Planning*. 74:7-20.
- Méndez, R. 2001a. Transformaciones económicas y reorganización territorial en la región metropolitana de Madrid. *Eure, Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales*. Vol. 27, 80.
- Méndez, R. 2001b. Atlas de las actividades económicas de la Comunidad de Madrid. Dirección General de Economía y Planificación. Consejería de Economía e Innovación Tecnológica. Comunidad de Madrid. 161 pp.
- Méndez, R., and J. Rodríguez Moya. 2007. Transformaciones productivas y nuevas formas urbanas: difusión de las actividades económicas en la región metropolitana funcional de Madrid. *Anales de Geografía*. 27: 105-134.
- Méndez, R. 2013. Las escalas de la crisis. Ciudades y desempleo en España. Fundación 1º de Mayo, Madrid. 146 pp.
- Meyer, W.B., and B.L.I. Turner. 1996. Land-use/land-cover change: challenges for geographers. *GeoJournal*. 39:237-240.
- Millington, J.D.A., J. Wainwright, G.L.W. Perry, R. Romero-Calcerrada, and B. Malamud. 2009. Modelling mediterranean landscape succession-disturbance dynamics: a landscape fire-sucession model. *Environmental Modelling & Software*. 24:1196-1208.
- Ministerio de Fomento. 2011. Capitales y Ciudades +100. Información estadística de las ciudades españolas 2010. Madrid. 244 pp.

- Ministerio de Fomento. 2012. Plan de infraestructuras, transporte y vivienda (PITVI) 2012-2024. Documento inicial para la presentación institucional y participación pública. S.E. Infraestructuras, transporte y Vivienda. Ministerio de Fomento. 386.
- Molina, M. 2002. Madrid, metrópoli global. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. Vol. extraordinario:349-356.
- Moody, A., and C.E. Woodcock. 1994. Scale-dependent errors in the estimation of land-cover proportions: implications for global land-cover datasets. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 60:585-594.
- Moore, I.D., B.G. Lee, and S.M. Davey. 1991. A new method for predicting vegetation distributions using decision tree analysis in a geographic information system. *Environmental Management*. 15:59-71.
- Moreira, J.M. 2006. El sistema de información geográfica-ambiental de Andalucía. Del SINAMBA a la Red de Información Ambiental de Andalucía. *Geofocus*. 6:4-10.
- Moreno, M.V., and E. Chuvieco. 2009. Validación de productos globales de cobertura de suelo en la España Peninsular. *Revista de Teledetección*. 31:5-22.
- Münier, B., K. Birr-Pedersen, and J.S. Schou. 2004. Combined ecological and economic modelling in agricultural land use scenarios. *Ecological Modelling*. 174:5-18.
- Nagendra, H., D.K. Munroe, and J. Southworth. 2004. From pattern to process: landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change. 101:111-115.
- Naredo, J.M., and R.C. García Zaldívar. 2008. Estudio sobre la ocupación de suelo por usos urbano-industriales, aplicado a la Comunidad de Madrid. Ministerio de Medio Ambiente y Universidad Politécnica de Madrid. 238 pp.
- Naredo, J.M. 2009. La cara oculta de la crisis. El fin del boom inmobiliario y sus consecuencias. *Revista de Economía Crítica*. 7:313-340.
- Novillo, C.J., R. Romero-Calcerrada, and I. Gómez. 2008. Dinámica de usos en una zona de especial protección para las aves: ciclos, intercambios y cambios netos. In XIII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. L.P. Hernández, J.M., editor, Las Palmas de Gran Canaria. 106-113.
- OECD. 2007. OECD Territorial Reviews. Madrid, Spain. OECD, París. 260 pp

- OSE. 2006. Informe de sostenibilidad en España. Observatorio de la Sostenibilidad de España. Madrid. 587 pp.
- OSE. 2010. Sostenibilidad de España 2010. Observatorio de la Sostenibilidad de España. Madrid. 479 pp.
- OSE. 2012. Sostenibilidad en España 2012. Capítulo Especial. Energía sostenible para todos. 2012, Año internacional de la Energía. Observatorio de la Sostenibilidad de España. Madrid. 316 pp.
- Otto, R., B.O. Krüsi, and F. Kienast. 2007. Degradation of an arid coastal landscape in relation to land use changes in Southern Tenerife (Canary Islands). *Journal of Arid Environments*. 70:527-539.
- Overmars, K.P., G.H.J. de Koning, and A. Veldkamp. 2003. Spatial autocorrelation in multi-scale land use models. *Ecological Modelling*. 164:257-270.
- Overmars, K.P., P.H. Verburg, and T. Veldkamp. 2007. Comparison of a deductive and an inductive approach to specify land suitability in a spatially explicit land use model. *Land Use Policy*. 24:584-599.
- Paegelow, M., M.T. Camacho, and J. Menor. 2002. Modelización prospectiva del paisaje mediante Sistemas de Información Geográfica. In *Métodos cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Ciencia y tecnología de la Información Geográfica en un mundo globalizado*. X Coloquio de Geografía Cuantitativa, Valladolid. 10 pp.
- Paegelow, M., M.T. Camacho, and J. Menor. 2003. Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje. *Geofocus*. 3:24-44.
- Paegelow, M., and M.T. Camacho Olmedo. 2010. Modelos de simulación espacio-temporal y teledetección: el método de la segmentación para la cartografía cronológica de usos del suelo. *Serie Geográfica*. 16:19-34.
- Pan, Y., A. Roth, Z. Yu, and R. Doluschitz. 2010. The impact of variation in scale on the behavior of a cellular automata used for land use change modeling. *Computers, Environment and Urban Systems*. 34:400-408.
- Parker, D.C., T. Berger, and S.M. Manson. 2002. Agent-based models of Land-use and Land-cover change. In *LULC Report Series No.6*. LUCC International Project Office, Louvain-la-Nueve. 124 pp.
- Parra, G.A., M.C. Mouchot, and C. Roux. 1996. A multitemporal land-cover change analysis tool using change vector and principal components analysis. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*:1753-1755.

- Pascual, V., F. Aguilera, M. Gómez, P. Barreira, J.M. Santos, and J. Bosque Sendra. 2011. Métodos de compración de mapas simulados del crecimiento urbano con los mapas reales. *In* XIII Conferencia Iberoamericana en Sistemas de Información Geográfica, Toluca, México. 1- 19 pp.
- Patel, M., K. Kok, and D.S. Rothman. 2007. Participatory scenario construction in land use analysis: an insight into the experiences created by stakeholder involvement in the Northern Mediterranean. *Land Use Policy*. 24:546-561.
- Peña, J., R.M. Poveda, A. Bonet, J. Bellot, and A. Escarré. 2005. Cartografía de las coberturas y usos del suelo de La Marina Baixa (Alicante) para 1956, 1978 y 2000. *Investigaciones Geográficas*. 37:93-107.
- Peña, J., A. Bonet, J. Bellot, J.R. Sánchez, D. Eisenhulth, S. Hallett, and A. Aledo. 2007. Driving forces of land-use change in a cultural landscape of Spain. *In* Modelling land-use change. Progress and applications. E. Koomen, J. Stillwell, A. Bakema, and H.J. Scholten, editors. Springer. 97-115.
- Pérez-Hugalde, C., R. Romero Calcerrada, P. Delgado-Pérez, and C.J. Novillo. 2011. Understanding land cover change in a Special Protection Area in Central Spain through the enhanced land cover transition matrix and a related new approach. *Journal of Environmental Management*. 92:1128-1137.
- Pérez Campaña, R., E. Molero Melgarejo, L.M. Valenzuela Montes, and A. Mataran Ruiz. 2004. Aplicación de SIG para la elaboración de modelos predictivos del cambio en los usos del suelo. *In* X Coloquio de Geografía Cuantitativa. C. Conesa, Álvarez, Y. and Granell, C., editors, Murcia. 319-331.
- Pérez-Vega, A., J.F. Mas, and A. Ligmann-Zielinska. 2012. Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest. *Environmental Modelling & Software*. 29:11-23.
- Petit, C.C., and E.F. Lambin. 2001. Integration of multi-source remote sensing data for land cover change detection. *International Journal of Geographical Information Science*. 15:785-803.
- Petit, C.C., and E.F. Lambin. 2002. Impact of data integration technique on historical land-use/land-cover change: comparing historical maps with remote sensing data in the Belgian Ardennes. *Landscape Ecology*. 17:117-132.

- Plata Rocha, W. 2010. Descripción, análisis y simulación del crecimiento urbano mediante Tecnologías de la Información Geográfica. El caso de la Comunidad de Madrid. *In* Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares. 314 pp.
- Plata Rocha, W., M. Gómez Delgado, and J. Bosque Sendra. 2010. Desarrollo de modelos de crecimiento urbano óptimo para la Comunidad de Madrid aplicando métodos de evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica. *Geofocus*. 10:103-134.
- Pontius Jr, R.G. 2000. Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 66:1011-1016.
- Pontius Jr, R.G., and L.C. Schneider. 2001. Land-cover change model validation by a ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 85:239-248.
- Pontius Jr, R.G. 2002. Statistical methods to partition effects of quantity and location during comparison of categorical maps at multiple resolutions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 68:1041-1049.
- Pontius Jr, R.G., D. Huffaker, and K. Denman. 2004a. Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. *Ecological Modelling*. 179:445-461.
- Pontius Jr, R.G., and C.D. Lippitt. 2004. A method to distinguish real landscape change from map error during map comparison. *In* Joint meeting of the 6th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences and the 15th Annual Conference of the International Environmetrics Society. H.T. Mowrer, R. McRoberts, and P.C. VanDeusen, editors, Portland, Maine, USA. 9 pp.
- Pontius Jr, R.G., and N.R. Malizia. 2004. Effect of category aggregation on map comparison. *In* GIScience. M.J. Egenhofer, C. Freksa, and H.J. Miller, editors. Springer-Verlag, Heidelberg. 251-268.
- Pontius Jr, R.G., E. Shusas, and M. McEachern. 2004b. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 101:251-268.
- Pontius Jr, R.G., W. Boersma, J.-C. Castella, K. Clarke, T.C.M. De Nijs, C. Dietzel, Z. Duan, E. Fotsing, N. Goldstein, K. Kok, E. Koomen, C.D. Lippitt, W. McConnell, A.M. Sood, B. Pijanowski, S. Pithadia, S. Sweeney, T.N. Trung, A.T. Veldkamp, and P.H. Verburg. 2008. Comparing the input, output, and validation maps for several models of land change. *Annals of Regional Science*. 42:11-37.

- Pontius Jr, R.G., and X. Li. 2010. Land transition estimates form erroneous maps. *Journal of Land Use Science*. 5:31-44.
- Pontius Jr, R.G., and M. Millones. 2011. Death to Kappa: Birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*. 32:4407-4429.
- Pozo Rivera, E. 2005. Tendencias recientes en la evolución de la población de la Comunidad de Madrid (1996-2001). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. 25:353-376.
- Prieto, F., P. Ruíz, and J. Martínez. 2008. Prospectiva 2030 en los cambios de ocupación del suelo en España y sus impactos en el ciclo hidrológico. *In* VI Congreso Ibérico Planificación y Gestión de Aguas, Zaragoza. 10 pp.
- Quintana, I.C. 1991. Madrid región metropolitana. Estrategia territorial y actuaciones. Consejería de Política Territorial. Comunidad de Madrid, Madrid. 223 pp.
- Rae, C., K. Rothley, and S. Dragicevic. 2007. Implications of error and uncertainty for an environmental planning scenario: A sensitivity analysis of GIS-based variables in a reserve design exercise. *Landscape and Urban Planning*. 79:210-217.
- Ramankutty, N., L. Graumlich, F. Achard, D. Alves, A. Chhabra, R.S. DeFries, J.A. Foley, H.J. Geist, R.A. Houghton, K.K. Goldewijk, E.F. Lambin, A. Millington, K. Rasmussen, R.S. Reid, and B.L.I. Turner. 2006. Global land-cover change: recent progress, remaining challenges. *In* Land-use and land-cover change. Local proccesses and Global Impacts. E.F. Lambin and H.J. Geist, editors. Springer, Berlin. 9-39.
- Reid, R.S., T.P. Tomich, J.C. Xu, H.J. Geist, and A.S. Mather. 2006. Linking land-change science and policy: current lessons and future integration. *In* Land-use and land-cover change. Local proccesses and Global Impacts. . E.F. Lambin and H.J. Geist, editors. Springer, Berlin. 157-172.
- Rickebusch, S., M. Gellrich, H. Lischke, A. Guisan, and N.E. Zimmermann. 2007. Combining probabilistic land-use change and tree population dynamics modelling to simulate responses in mountain forests. *Ecological Modelling*. 209:157-168.
- Rindfuss, R.R., S.J. Walsh, B.L.I. Turner, J. Fox, and V. Mishra. 2004. Developing a science of land change: challenges and methodological issues. *PNAS*. 101:13976-13981.

- Rivas Martínez, S. 1982. Memoria del mapa de las series de vegetación de la provincia de Madrid, escala 1: 200.000. Servicio Forestal, de Medio Ambiente y Contra Incendios. Diputación Provincial de Madrid. 47 pp.
- Rodríguez, E., and I. López. 2011. Del auge al colapso. El modelo financiero-inmobiliario de la economía española (2005-2010). *Revista de Economía Crítica*. 12:39-63.
- Rodríguez Verdú, F. 2010. Análisis geográfico de los incendios forestales de la España peninsular. *In* Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares. 203 pp.
- Romero-Calcerrada, R., and G.L.W. Perry. 2004. The role of land abandonment in landscape dynamics in the SPA "Encinares del río Alberche y Cofio", Central Spain, 1984-1999. *Landscape and Urban Planning*. 66:217-232.
- Romero, J. 2010. Construcción residencial y gobierno del territorio en España. De la burbuja especulativa a la recesión. Causas y consecuencias. *Cuadernos geográficos*. 47:17-46.
- Romero, J., F. Jiménez, and M. Villoria. 2012. (Un)sustainable territories: causes of the speculative bubble in Spain (1996–2010) and its territorial, environmental, and sociopolitical consequences. *Environment and Planning C. Government and Policy*. 30:467-486.
- Rounsevell, M.D.A., J.E. Annetts, E. Audsley, T. Mayr, and I. Reginster. 2003. Modelling the spatial distribution of agricultural land use at the regional scale. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 95:465-479.
- Rounsevell, M.D.A., B. Pedrolí, K.-H. Erb, M. Gramberger, A.G. Busck, H. Haberl, S. Kristensen, T. Kuemmerle, S. Lavorel, M. Lindner, H. Lotze-Campen, M.J. Metzger, D. Murray-Rust, A. Popp, M. Pérez-Soba, A. Reenberg, A. Vadineanu, P.H. Verburg, and B. Wolfslehner. 2012. Challenges for land system science. *Land Use Policy*. 29:899-910.
- Ruescas, A.B. 2001. Análisis de la dinámica espacio-temporal de los usos del suelo mediante SIG: la cabecera de la cuenca de Canyoles. *Cuadernos de Geografía*. 69:251-230.
- Ruiz Benito, P., J.A. Cuevas, R. Bravo de la Parra, F. Prieto, J.M. García del Barrio, and M.A. Zavala. 2010. Land use change in a Mediterranean metropolitan region and its periphery: assessment of conservation policies through CORINE Land Cover data and Markov models. *Forest Systems*. 19:315-328.
- Runfola, D.M., and R.G. Pontius Jr. review. Quantifying spatial and temporal instability of land change. 1-35.

- Rutherford, G.N., P. Bebi, P.J. Edwards, and N.E. Zimmermann. 2008. Assessing land-use statistics to model land cover change in a mountainous landscape in the Europa Alps. *Ecological Modelling*. 212:460-471.
- Sangermano, F., J.R. Eastman, and H. Zhu. 2010. Similarity weighted interance-based learning for the generation of transition potentials in land use change modeling. *Transactions in GIS*. 14:569-580.
- Sangermano, F., J. Toledano, and J.R. Eastman. 2012. Land cover change in the Bolivian Amazon and its implications for REDD+ and endemic biodiversity. *Landscape Ecology*. 27:871-584.
- Santana, L.M., and J. Salas. 2007. Análisis de cambios en la ocupacion del suelo ocurridos en sabanas de Colombia entre 1987 y 2001, usando imágenes Landsat. *Geofocus*. 7:281-313.
- Sastre, P., J.V. Lucio, and V. Martínez. 2002. Modelos de conectividad del paisaje a distintas escalas. Ejemplos de aplicación en la Comunidad de Madrid. *Ecosistemas*. 2 pp.
- Schmitz, M.F., D.G.G. Matos, I. De Aranzabal, D. Ruiz-Labourdette, and F.D. Pineda. 2012. Effects of a protected area on land-use dynamics and socioeconomic development of local populations. *Biological Conservation*. 149:122-135.
- Schneider, A., and C.E. Woodcock. 2008. Compact, dispersed, fragmented, extensive? A comparsion of urban growth in twenty-five global cities using remotely sensed data, pattern metrics and census information. *Urban Studies*. 45:659-692.
- Schoorl, J.M., and A. Veldkamp. 2001. Linking land use and landscape process modelling: a case study for the Álora region (south Spain). *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 85:281-292.
- Schulz, J.J., L. Cayuela, C. Echeverria, J. Salas, and J.M. Rey Benayas. 2010. Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975-2008). *Applied Geography*. 30:436-447.
- Serra, P., X. Pons, and D. Sauri. 2008. Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: a spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors. *Applied Geography*. 20:189-209.
- Serrano Cambronero, M. 2001. Infraestructuras de transporte y desarrollo urbano: aproximación metodológica por medio de teledetección. In Tesis Doctoral. Departamento de Análisis Geografico Regional y Geografía Física. Universidad Complutense de Madrid, Madrid. 721 pp.

- Serrano Cambronero, M. 2002. Influencia de las carreteras en el desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid en el periodo 1987-1997. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. Vol. Extraordinario:459-469.
- Serrano Cambronero, M., C. Gago García, and F.J. Antón Burgos. 2006. Impacto territorial de las carreteras orbitales de la Comunidad de Madrid, Madrid. 233 pp.
- Singh, A. 1989. Digital change detecting techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*. 10:986-1003.
- Smith, J.H., S.V. Stehman, J.D. Wickham, and L. Yang. 2003. Effects of landscape characteristics on land-cover class accuracy. *Remote Sensing of Environment*. 84:342-349.
- Soliva, R., and M. Hunziker. 2009. Beyond the visual dimension: Using ideal type narratives to analyse people's assessments of landscape scenarios. *Land Use Policy*. 26:284-294.
- Stellmes, M., A. Röder, T. Udelhoven, and J. Hill. 2013. Mapping syndromes of land change in Spain with remote sensing time series, demographic and climatic data. *Land Use Policy*. 30:685-702.
- Tobler, W.R. 1975. Cellular Geography (Traducción de la conferencia "Schachbrett modelle in der Geographie"). In *Arbeitskreis für neue methoden in der Regionalforschung*, Viena. 1-12.
- Townsend, P.A., T.R. Lookingbill, C.C. Kingdon, and R.H. Gardner. 2009. Spatial pattern analysis for monitoring protected areas. *Remote Sensing of Environment*. 113:1410-1420.
- Tress, B., and G. Tress. 2003. Scenario visualisation for participatory landscape planning--a study from Denmark. *Landscape and Urban Planning*. 64:161-178.
- Turner, M.G., R.H. Gardner, and R.V. O'Neill. 2001. Landscape ecology in theory and practice. Pattern and process. Springer. 401 pp.
- Vafeidis, A.T., S. Kokoulas, I. Gatsis, and K. Gkoltsiou. 2007. Forecasting land-use changes with the use of neuronal networks and GIS. 5068-5071.
- Valbuena, D., P.H. Verburg, and A.K. Bregt. 2008. A method to define a typology for agent-based analysis in regional land-use research. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 128:27-36.
- Valenzuela, M. 1990. La Comunidad de Madrid y la construcción del territorio metropolitano. *Boletín de la A.G.E.* 11:15-50.

- Valenzuela, M. 2010. La planificación territorial de la región metropolitana de Madrid. Una asignatura pendiente. *Cuadernos geográficos*. 47:95-129.
- van Oort, P.A.J. 2007. Interpreting the change detection error matrix. *Remote Sensing of Environment*. 108:1-8.
- Van Vliet, J. 2009. Assessing the Accuracy of Changes in Spatial Explicit Land Use Change Models. In 12th AGILE International Conference on Geographic Information Science, Leibniz, Alemania. 9 pp.
- van Vliet, J., A.K. Bregt, and A. Hagen-Zanker. 2011. Revisiting Kappa to account for change in the accuracy assessment of land-use change models. *Ecological Modelling*. 222:1367-1375.
- Veldkamp, A., and L.O. Fresco. 1996a. CLUE-CR: an integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica. *Ecological Modelling*. 91:231-248.
- Veldkamp, A., and L.O. Fresco. 1996b. CLUE: a conceptual model to study the conversion of land use and its effects. *Ecological Modelling*. 85:253-270.
- Veldkamp, A., and L.O. Fresco. 1997. Exploring land use scenarios, an alternative approach based on actual land use. *Agricultural Systems*. 55:1-17.
- Veldkamp, A., and E.F. Lambin. 2001. Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 85:1-6.
- Verbunt, M., M. Groot Zwaartink, and J. Gurtz. 2005. The hydrologic impact of land cover changes and hydropower stations in the Alpine Rhine basin. *Ecological Modelling*. 187:71-84.
- Verburg, P.H., G.H.J. de Koning, K. Kok, A. Veldkamp, and J. Bouma. 1999a. A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual land use. *Ecological Modelling*. 116:45-61.
- Verburg, P.H., T.A. Veldkamp, and J. Bouma. 1999b. Land use change under conditions of high population pressure: the case of Java. *Global environmental change*. 9:303-312.
- Verburg, P.H., W. Soepboer, A. Veldkamp, R. Limpiada, V. Espaldon, and S.A. Sharifah Mastura. 2002. Modeling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: The CLUE-S Model. *Environmental Management*. 30:391-405.
- Verburg, P.H., T.C.M. De Nijs, J.R. van Eck, H. Visser, and K. De Jong. 2004a. A method to analyse neighbourhood characteristics of land use patterns. *Computer, environment and urban systems*. 28:667-690.

- Verburg, P.H., K.P. Overmars, and N. Witte. 2004b. Accesibility and land-use patterns at the forest fringe in the northeastern part of the Philippines. *The Geographical Journal*. 170:238-255.
- Verburg, P.H., J. Ritsema van Eck, T.C.M. De Nijs, and P.S. Martin J Dijst. 2004c. Determinants of land-use change patterns in the Netherlands. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 31:125-150.
- Verburg, P.H., P.P. Schot, M.J. Dijst, and A. Veldkamp. 2004d. Land use change modelling: current practice and research priorities. *GeoJournal*. 61:309-324.
- Verburg, P.H., K. Kok, R.G. Pontius Jr, and A. Veldkamp. 2006a. Modeling land-use and land-cover change. *In* Land-use and land-cover change. Local proccesses and Global Impacts. E.F. Lambin and H.J. Geist, editors. Springer, Berlin. 117-135.
- Verburg, P.H., M.D.A. Rounsevell, and A. Veldkamp. 2006b. Scenario-based studies of future land use in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 114:1-6.
- Verburg, P.H., C.J.E. Schulp, N. Witte, and A. Veldkamp. 2006c. Downscaling of land use change scenarios to assess the dynamics of European landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 114:39-56.
- Verburg, P.H., and K.P. Overmars. 2007. Dynamic simulation of land-use change trajectories with the CLUE-s Model. *In* Modelling land-use change. Progress and applications. E. Koomen, J. Stillwell, A. Bakema, and H.J. Scholten, editors. Springer. 321-335.
- Verburg, P.H., J. van de Steeg, A. Veldkamp, and L. Willemen. 2009. From land cover change to land function dynamics: A major challenge to improve land characterization. *Journal of Environmental Management*. 90:1327-1335.
- Vicente-Serrano, S.M., T. Lasanta, and A. Romo. 2003. Diferencias espaciales en la evolución del NDVI en la Cuenca Alta del Aragón: efectos de los cambios de uso del suelo. *Cuadernos de Investigación Geográfica*. 29:51-66.
- Vinuesa Angulo, J. 1985. Distribución espacial de la población de la provincia de Madrid. *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*. T. CXXI. 121-149 pp.
- Vinuesa Angulo, J. 1994. La población de Madrid. Análisis de la dinámica demográfica de la región. 1981-1991. Consejería de Política Territorial de la Comunidad de Madrid. 262 pp.

- Walsh, S.J., J.P. Messina, C.F. Mena, G.P. Malanson, and P.H. Page. 2008. Complexity theory, spatial simulation models, and land use dynamics in the Northern Ecuadorian Amazon. *Geoforum*. 39:867-878.
- Wassenaar, T., P. Gerber, P.H. Verburg, M. Rosales, M. Ibrahim, and H. Steinfeld. 2007. Projecting land use changes in the Neotropics: The geography of pasture expansion into forest. *Global Environmental Change*. 17:86-104.
- Westhoek, H.J., M. van den Berg, and J.A. Bakkes. 2006. Scenario development to explore the future of Europe's rural areas. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 114:7-20.
- Yue, T.X., Z.M. Fan, and J.Y. Liu. 2007. Scenarios of land cover in China. *Global and Planetary Change*. 55:317-342.
- Zárate, A., L. Ojeda, C.L. de Pablo, J.C. Rebollo, G.M.P. Pérez, and F.D. Pineda. 1998. Cambios en el paisaje de la Comunidad de Madrid. In *El paisaje mediterráneo*. J.y.F. Arias Abellan, F., editors. Tierras del sur. Universidad de Granada. Junta de Andalucía. Granada. 13 pp.
- Zárate, A. 2003a. Madrid, un modelo suprametropolitano de urbanización. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. 23:283-304.
- Zárate, A. 2003b. Efectos de la Globalización en la región urbana de Madrid, Ed. Universidad Nacional de Educacion a Distancia (UNED). Madrid. 212 pp.
- Zondag, B., and J. Borsboom. 2009. Driving forces of land-use change. In 49th ERSA conference, Lodz, Polonia. 16 pp.

ANEXO 1

Fuentes cartográficas utilizadas en este trabajo

Nombre	Mapa de vegetación y usos del suelo de la Comunidad de Madrid, 1982
Resumen	Mapa de vegetación y usos del suelo de la Comunidad de Madrid
Organismo que la elabora o suministra	Área de Información y Documentación Ambiental. Conserjería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Comunidad de Madrid.
Fecha de elaboración	1982
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 50.000
Sistema de referencia	ED1950 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	Junio 2010

Nombre	CORINE Land Cover 1990
Resumen	Mapa de ocupación del suelo en España, correspondiente al proyecto europeo CORINE Land Cover, versión 1990.
Organismo que la elabora	Instituto Geográfico Nacional; Gobierno de Navarra; TRACASA; Instituto Cartográfico de Cataluña; Universidad Complutense de Madrid, Dpto. de Geografía Humana; Universidad de Alcalá de Henares, Dpto. de Geografía; Conserjerías de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía y de la Xunta de Galicia; Universidad de Santiago de Compostela.
Organismo que la suministra	Centro Nacional de Información Geográfica, del Instituto Geográfico Nacional y la Agencia Europea de Medio Ambiente
Fecha de elaboración	Enero 1990
Última actualización	04/2012 (Versión 16).
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 100.000
Sistema de referencia	ED1950 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	Noviembre 2005
Página web	http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/

Nombre	CORINE Land Cover 2000
Resumen	Mapa de ocupación del suelo en España, correspondiente al proyecto europeo CORINE Land Cover, versión 2000.
Organismo que la elabora	Consejerías de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, del Principado de Asturias, del Gobierno de Canarias, del Gobierno de Cantabria, de de Castilla-La Mancha, de la Junta de Castilla y León, de la Xunta de Galicia, de la Comunidad de Madrid, de la Ciudad Autónoma de Melilla y de la Junta de Extremadura; el Dpto. Medio Ambiente de la Diputación General de Aragón, de Cataluña, de Navarra y del Gobierno Vasco; Illes Balears, Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transporte; Ciudad Autónoma de Ceuta; Gobierno de La Rioja. Dirección Gral. de Medio Natural y Dirección Gral. de Política; Región de Murcia. Consejería de Agricultura y Agua; Generalitat Valenciana. Conserjería de Territorio y Vivienda; Instituto Cartográfico

	Valenciano.
Organismo que la suministra	Centro Nacional de Información Geográfica, del Instituto Geográfico Nacional y la Agencia Europea de Medio Ambiente
Fecha de elaboración	Enero 2000
Última actualización	04/2012 (Versión 16)
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 100.000
Sistema de referencia	ED1950 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	Enero 2006
Página web	http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/

Nombre	CORINE Land Cover 2006
Resumen	Mapa de ocupación del suelo en España, correspondiente al proyecto europeo CORINE Land Cover, versión 2006.
Organismo que la elabora o suministra	Centro Nacional de Información Geográfica, del Instituto Geográfico Nacional y la Agencia Europea de Medio Ambiente
Última actualización	Abril 2012 (Versión 16)
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 100.000
Sistema de referencia	ETRS1989 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	Descarga. Febrero 2010
Página web	http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/

Nombre	Base Topográfica Nacional BTN25
Resumen	Base topográfica nacional.
Organismo que la elabora o suministra	Centro Nacional de Información Geográfica, Instituto Geográfico Nacional
Fecha de elaboración	2009
Formato	Dgn
Escala	1: 25.000
Sistema de referencia	ETRS 89 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	2012
Página web	http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas

Nombre	Base Cartográfica Numérica BCN200
Resumen	Cartografía base nacional
Organismo que la elabora o suministra	Centro Nacional de Información Geográfica, Instituto Geográfico Nacional
Fecha de elaboración	2009
Formato	Dgn
Escala	1: 200.000
Sistema de referencia	ETRS 89 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	2009
Página web	http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas

Nombre	Base Cartográfica Numérica BCN500
Resumen	Cartografía base nacional
Organismo que la elabora o suministra	Centro Nacional de Información Geográfica, Instituto Geográfico Nacional
Fecha de elaboración	2009
Formato	Dgn
Escala	1: 500.000
Sistema de referencia	ETRS 89 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	2011
Página web	http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas

Nombre	Mapa Geológico de la Comunidad de Madrid
Resumen	Mapa digitalizado en el marco del Programa de Planificación Hidrológica del Plan Forestal de la Comunidad de Madrid, a partir del mapa 1: 200.000 del Atlas Geocientífico de la Comunidad de Madrid (1988).
Organismo que la elabora	Cátedra de Hidrología de la ETSI Montes de Madrid.
Organismo que la suministra	Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio. Comunidad de Madrid
Fecha de elaboración	1990
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 200.000
Sistema de referencia	UTM, elipsoide internacional
Fecha de suministro o descarga	Mayo 2002

Nombre	Embalses con zonificaciones: El Atazar, El Villar, La Jarsa, Los Arroyos, Navacerrada, Pedrezuela, Picadas, Pinilla, Puentes Viejas, Riosequillo y Valmayor.
Resumen	Planes de Ordenación de Embalses.
Organismo que la elabora o suministra	Área de Información y Documentación Ambiental. Conserjería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Comunidad de Madrid.
Fecha de elaboración	2004
Última actualización	Febrero 2012
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 50.000
Sistema de referencia	ED 1950 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	Solicitada mediante email. Febrero 2012

Nombre	Embalses sin zonificación: Embalse de El Pardo, Embalse de San Juan, Embalse de Santillana
Resumen	Extraídos de Corine Land Cover 2006.
Organismo que la elabora o suministra	Instituto Geográfico Nacional y la Agencia Europea de Medio Ambiente
Fecha de elaboración	-
Última actualización	04/2012 (Versión 16)
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 100.000
Sistema de referencia	ED1950 UTM huso 30

Nombre	MDE 5 metros
Resumen	Modelo Digital de Elevaciones con paso de malla de 5 metros, procedente del proyecto PNOA que cubre todo el territorio nacional. Datos obtenidos por correlación automática a partir de los vuelos fotogramétricos del PNOA.
Organismo que la elabora	Instituto Geográfico Nacional
Organismo que la suministra	Servidor SerGeo, CCHS, CSIC.
Fecha de elaboración	Diciembre 2009
Formato	Ascii / Datos Grid.
Escala	5 metros
Sistema de referencia	Sin referencia espacial
Fecha de suministro o descarga	Descarga. Julio 2011
Página web	http://humanidades.cchs.csic.es/cchs/sig/d.php?sec=8

Nombre	Mapa de Cultivos y Aprovechamientos 1985
Resumen	Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de España.
Organismo que la elabora	Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
Organismo que la suministra	Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente
Fecha de elaboración	1974-1980
Última actualización	1990
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 50.000
Sistema de referencia	ED 1950 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	Descarga. Octubre 2008
Página web	http://www.magrama.gob.es/es/cartografia-y-sig/publicaciones/agricultura/mac_1980_1990.aspx

Nombre	Mapa de vegetación potencial
Resumen	Mapa de series de vegetación de España
Organismo que la elabora	Salvador Rivas Martínez
Organismo que la suministra	Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
Fecha de elaboración	1981
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1:400.000
Sistema de referencia	ED 1950 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	Febrero 2006

Nombre	Montes de Utilidad Publica
Resumen	Montes de Utilidad Pública del Segundo Inventario Forestal Nacional.
Organismo que la elabora o suministra	Dirección General para la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente
Fecha de elaboración	1986-1996
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 50.000
Sistema de referencia	ED 1950 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	Abril 2011

Nombre	Montes preservados
Resumen	Estudio y cartografía de los Montes Preservados de la Comunidad de Madrid.
Organismo que la elabora o suministra	Grupo de investigación "Tecnologías de la Información Geográfica" del CCHS, CSIC. Convenio suscrito con la Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid.
Fecha de elaboración	2001
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 5.000
Sistema de referencia	WGS 1984 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	Octubre 2001

Nombre	Mapa de clases agrológicas
Resumen	Cartografía de la capacidad agrológica de las tierras de la Comunidad de Madrid
Organismo que la elabora	Dpto. Edafología, E.T.S.I Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid, y conserjería de Obras Públicas, Urbanismo y Transporte de la Comunidad de Madrid.
Organismo que la suministra	Área de Información y Documentación Ambiental. Conserjería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Comunidad de Madrid.
Fecha de elaboración	2004
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 50.000
Sistema de referencia	ED 1950 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	Solicitada mediante email. Septiembre 2011

Nombre	Mapa Digital Continuo de Vegetación de la Comunidad de Madrid
Resumen	Mapa Digital Continuo de Vegetación de la Comunidad de Madrid
Organismo que la elabora	IGM. Ingeniería y gestión medioambiental, S.L.
Organismo que la suministra	Dirección General de Urbanismo y Planificación Regional. Conserjería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Comunidad de Madrid.
Fecha de elaboración	2005-2006
Última actualización	2006
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 25.000
Sistema de referencia	ED 1950 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	Junio 2008

Nombre	Mapa de terreno forestal de la Comunidad de Madrid
Resumen	Mapa digital del terreno forestal de la Comunidad de Madrid. Plan Forestal 2000-2019.
Organismo que la elabora	IGM. Ingeniería y gestión medioambiental S.L. y Conserjería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid
Organismo que la suministra	Área de desarrollo del Plan Forestal. Conserjería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Comunidad de Madrid.
Fecha de elaboración	2008

Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 10.000
Sistema de referencia	ED 1950 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	Solicitada mediante email. Marzo 2011

Nombre	Parque Regional del Guadarrama
Resumen	Zonificación del Parque Regional del Guadarrama
Organismo que la elabora o suministra	Cartografía Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio. Comunidad de Madrid
Fecha de elaboración	-
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 50.000
Sistema de referencia	ED 1950 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	Agosto 2003

Nombre	Parque Natural de Peñalara
Resumen	Zonificación del Parque Natural de Peñalara
Organismo que la elabora o suministra	Cartografía Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio. Comunidad de Madrid
Fecha de elaboración	-
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 50.000
Sistema de referencia	ED 1950 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	Junio 2003

Nombre	Parque Regional del Sureste
Resumen	Zonificación del Parque Regional en torno a los ejes de los cursos bajos de los ríos Manzanares y Jarama
Organismo que la elabora o suministra	Cartografía Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio. Comunidad de Madrid
Fecha de elaboración	-
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 50.000
Sistema de referencia	ED 1950 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	Junio 2004

Nombre	Parque Regional Cuenca Alta del Manzanares
Resumen	Zonificación del Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares
Organismo que la elabora o suministra	Cartografía Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio. Comunidad de Madrid
Fecha de elaboración	-
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 50.000
Sistema de referencia	ED 1950 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	Septiembre 2005

Nombre	ZEPA y Red Natura 2000 Alberche y Cofio, con zonificación
Resumen	Propuesta de zonificación de la Zona Especial Protección para las Aves y Red Natura 2000 Cuencas y Encinares de los ríos Alberche y Cofio.
Organismo que la elabora o suministra	Grupo de investigación "Tecnologías de la Información Geográfica" del CCHS, CSIC
Fecha de elaboración	Septiembre 2005
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 50.000
Sistema de referencia	WGS 1984 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	CCHS.CSIC.

Nombre	ZEC Alberche y Cofio, con zonificación
Resumen	Zonificación de la Zona Especial de Conservación Cuencas de los ríos Alberche y Cofio.
<i>Nota</i>	<i>No fue posible conseguir la zonificación oficial de la Dirección General de Medio Ambiente.</i>

Nombre	ZEC Jarama y Henares, con zonificación
Resumen	Zonificación de la Zona Especial de Conservación Cuencas de los ríos Jarama y Henares
<i>Nota</i>	<i>No fue posible conseguir la zonificación oficial de la Dirección General de Medio Ambiente.</i>

Nombre	Parque Nacional del Guadarrama
Resumen	Propuesta de Parque Nacional. Zonificación.
Organismo que la elabora o suministra	Servicio de Planificación de Espacios Protegidos
Fecha de elaboración	-
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 50.000
Sistema de referencia	Sin referencia espacial
Fecha de suministro o descarga	Solicitada por carta. Enero 2011

Nombre	Hábitats
Resumen	Hábitats Españoles, localizados en la Comunidad de Madrid.
Organismo que la elabora o suministra	Área de Estrategias y Planes de Conservación. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
Fecha de elaboración	Marzo 2005
Última actualización	-
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 50.000
Sistema de referencia	ED50, UTM huso 30
Fecha de suministro o descarga	Junio 2010

Nombre	LICs
Resumen	Lugares de Importancia Comunitaria en la Comunidad de Madrid
Organismo que la elabora o suministra	Dirección General para la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente.
Fecha de elaboración	Agosto 2007
Última actualización	-
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 50.000
Sistema de referencia	ED 1950 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	Marzo 2010

Nombre	ZEPAS
Resumen	Zonas de Especial Protección para las Aves en la Comunidad de Madrid
Organismo que la elabora o suministra	Dirección General para la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente
Fecha de elaboración	Marzo 2008
Última actualización	-
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 50.000
Sistema de referencia	ED 1950 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	Junio 2010

Nombre	Valor ecológico del paisaje
Resumen	Modelo de valor ecológico en función de las figuras de protección de espacios, hábitats y especies de fauna y flora.
Organismo que la elabora o suministra	Grupo de investigación "Tecnologías de la Información Geográfica" del CCHS, CSIC
Fecha de elaboración	2007
Formato	Shape / vectorial
Escala	1: 50.000
Sistema de referencia	ED 1950 UTM Zona 30N
Fecha de suministro o descarga	2007

Nombre	Mapa de la Evolución de la Ocupación del Suelo
Resumen	Suelos ocupados para diez categorías de usos (artificiales) en los años: 1956, 1975, 1980, 1991, 1995-1997, 2001 y 2005.
Organismo que la elabora o suministra	Dirección General de Urbanismo y Estrategia Territorial. Conserjería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Comunidad de Madrid.
Fecha de elaboración	2008
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 25.000
Sistema de referencia	Sin sistema de referencia
Fecha de suministro o descarga	Solicitada mediante email. Mayo 2011
Página web	http://www.madrid.org/cartografia/planea/planeamiento/html/web/indexEstudioOcupacionSuelo.htm

Nombre	Clasificación y Calificación de Usos, 2007
Resumen	Planeamiento de 2007 de la Comunidad de Madrid
Organismo que la elabora	Dirección General de Urbanismo y Estrategia Territorial de la Conserjería de Medio ambiente y Ordenación del Territorio.
Organismo que la suministra	Área de Centro Regional de Información Cartográfica de la Comunidad de Madrid Dirección General de Urbanismo y Estrategia Territorial de la Conserjería de Medio ambiente y Ordenación del Territorio.
Fecha de elaboración	2007
Última actualización	2007
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 25.000
Sistema de referencia	Sin sistema de referencia
Fecha de suministro o descarga	Solicitada mediante email. Agosto 2012
Página web	http://www.madrid.org/cartografia/planea/planeamiento/html/web/VisorPlaneamiento.htm

Nombre	Área Urbana de Madrid: áreas de suelo en desarrollo
Resumen	Recoge los ámbitos o sectores de suelo que han sido definidos a efectos del Sistema de Información Urbana como Áreas de Suelo en Desarrollo a partir del planeamiento urbanístico municipal vigente en 52 municipios del Área Urbana de Madrid (constituyen el 100% de los municipios del Área Urbana según la delimitación establecida por el Atlas Estadístico de las Áreas Urbanas de España del Ministerio de Vivienda). Se han considerado, a los efectos del Sistema de Información Urbana, como Áreas de Suelo en Desarrollo aquellos ámbitos o sectores clasificados como suelo urbano no consolidado o suelo urbanizable delimitado en los que el planeamiento prevé transformaciones urbanísticas estableciendo para ello una serie de determinaciones o condiciones para su desarrollo.
Organismo que la elabora	TRAGSATEC
Organismo que la suministra	Dirección General de suelo y políticas urbanas, Secretaría de estado de vivienda y actuaciones urbanas, Ministerio de Fomento.
Fecha de elaboración	Diciembre 2006
Formato	Shape / Vectorial
Escala	1: 5.000
Sistema de referencia	GCS WGS 1984
Fecha de suministro o descarga	Solicitada mediante email. Recibida Octubre 2011
Página web	Portal del suelo y Políticas Urbanas. http://siu.vivienda.es/

ANEXO 2

Nomenclatura oficial de las categorías CORINE Land Cover a nivel 2 y 3 presentes en este estudio.

CLC Nivel 2		CLC Nivel 3
1.1	Zonas urbanas	1.1.1 Tejido urbano continuo 1.1.2 Tejido urbano discontinuo
1.2	Zonas industriales, comerciales y de transporte	1.2.1 Zonas industriales o comerciales 1.2.2 Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados 1.2.4 Aeropuertos
1.3	Zonas de extracción minera, vertederos y en construcción	1.3.1 Zonas de extracción minera 1.3.2 Escombreras y vertederos 1.3.3 Zonas en construcción
1.4	Zonas verdes artificiales	1.4.1 Zonas verdes urbanas 1.4.2 Instalaciones deportivas y recreativas
2.1	Tierras de labor	2.1.1 Tierras de labor en secano 2.1.2 Terrenos regados permanentemente
2.2	Cultivos permanentes	2.2.1 Viñedos 2.2.2 Frutales 2.2.3 Olivares
2.3	Prados y praderas	2.3.1 Prados y praderas
2.4	Zonas agrícolas heterogéneas	2.4.2 Mosaico de cultivos 2.4.3 Terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural 2.4.4 Sistemas agroforestales
3.1	Bosques	3.1.1 Bosques de frondosas 3.1.2 Bosques de coníferas 3.1.3 Bosque mixto
3.2	Espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea	3.2.1 Pastizales naturales 3.2.3 Matorrales esclerófilos 3.2.4 Matorral boscoso de transición
3.3	Espacios abiertos con poca o sin vegetación	3.3.2 Roquedo 3.3.3 Espacios con vegetación escasa
4.1	Zonas húmedas continentales	4.1.1 Humedales y zonas pantanosas
5.1	Aguas continentales	5.1.1 Cursos de agua 5.1.2 Láminas de agua

Fuente: CORINE Land Cover – Actualización 2000. I&CLC2000. Instituto Geográfico Nacional.

Se muestra también las categorías enumeradas de forma secuencial, ya que esta leyenda también es utilizada en el estudio.

CLC Nivel 2		CLC Nivel 3	
1	Zonas urbanas	1 Tejido urbano continuo	2 Tejido urbano discontinuo
2	Zonas industriales, comerciales y de transporte	3 Zonas industriales o comerciales	4 Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados
		5 Aeropuertos	
3	Zonas de extracción minera, vertederos y en construcción	6 Zonas de extracción minera	7 Escombreras y vertederos
		8 Zonas en construcción	
4	Zonas verdes artificiales	9 Zonas verdes urbanas	10 Instalaciones deportivas y recreativas
5	Tierras de labor	11 Tierras de labor en secano	12 Terrenos regados permanentemente
6	Cultivos permanentes	13 Viñedos	14 Frutales
		15 Olivares	
7	Prados y praderas	16 Prados y praderas	
8	Zonas agrícolas heterogéneas	17 Mosaico de cultivos	18 Terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural
		19 Sistemas agroforestales	
9	Bosques	20 Bosques de frondosas	21 Bosques de coníferas
		22 Bosque mixto	
10	Espacios con vegetación arbustiva y/o herbácea	23 Pastizales naturales	24 Matorrales esclerófilos
		25 Matorral boscoso de transición	
11	Espacios abiertos con poca o sin vegetación	26 Roquedo	27 Espacios con vegetación escasa
12	Zonas húmedas continentales	28 Humedales y zonas pantanosas	
13	Aguas continentales	29 Cursos de agua	30 Láminas de agua

Fuente: Elaboración propia a partir de CORINE Land Cover – Actualización 2000. I&CLC2000. Instituto Geográfico Nacional.

ANEXO 3

Matrices de tabulación cruzada, depuradas tras el proceso de corrección de errores, realizadas a nivel 3 de CLC, en hectáreas y en porcentajes sobre el total.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	T.82
1	10.292	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.307	
2	168	28.593	0	179	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	28.941	
3	0	0	5.484	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.485	
4	0	0	24	3.876	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.899	
5	0	0	0	0	2.572	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.572	
6	0	0	439	0	0	1.289	312	45	0	0	99	159	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	233	346	0	0	0	0	0	2.922	
7	0	0	0	0	0	0	326	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	326	
8	0	323	100	0	0	0	0	1.373	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.796	
9	133	0	0	21	0	0	0	0	641	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	833	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.060	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.060	
11	66	713	397	132	209	78	97	319	76	104	175.323	1.266	2.589	18	514	0	12.600	3.839	2.558	220	74	0	1.812	1.710	564	0	0	0	1	0	205.276
12	0	54	81	29	0	27	38	36	0	0	573	24.516	29	172	0	0	38	0	0	25	0	0	1	1	0	0	0	1	0	25.620	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.922	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4.923	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	
15	0	0	7	0	0	36	0	0	0	0	140	0	145	63	9.404	0	1.434	136	0	0	0	0	32	540	20	0	0	0	0	11.955	
16	7	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.031	0	142	0	0	0	0	28	108	449	0	0	0	0	4.818	
17	54	266	49	20	0	0	35	119	0	0	12.023	3.419	922	0	634	0	22.930	3.732	26	0	17	306	915	1.192	359	0	0	0	0	47.016	
18	22	90	25	0	0	0	239	0	0	55	3.257	1.470	109	39	1.361	0	587	15.327	608	1.978	16	26	1.424	12.751	1.106	0	0	0	0	40.488	
19	6	139	0	0	0	0	0	0	0	168	1	0	0	0	0	0	10	0	16.818	125	0	105	72	68	3.066	0	0	0	0	20.577	
20	43	50	0	0	0	0	0	0	106	0	11	0	0	0	0	16	0	37	57	27.463	1	0	142	861	2.704	0	0	0	0	31.489	
21	1	27	0	0	0	0	0	0	1.326	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	43.756	0	199	524	2.697	0	0	0	1	48.531	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.640	0	0	58	0	0	0	0	3.699	
23	53	247	55	205	0	82	0	70	0	60	819	86	104	0	0	482	661	723	2.525	567	260	1	106.980	3.268	2.904	0	0	0	0	120.149	
24	14	116	31	21	0	48	54	256	187	22	1.216	16	23	0	0	14	1	652	37	456	700	0	5.933	91.126	3.798	5	0	0	0	104.723	
25	61	17	0	18	49	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	50	0	161	31	189	1	0	427	212	62.637	0	0	0	0	63.853	
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	26	3.780	0	0	0	3.807	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	957	0	0	957	
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	0	39	
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.022	2	1.024	
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5.679	5.680
T.90	10.918	30.686	6.707	4.499	2.829	1.559	1.101	2.218	2.336	1.507	193.462	30.934	8.846	319	11.913	4.594	38.260	24.747	22.660	31.022	44.824	4.078	11.8197	11.2705	80.386	3.785	957	39	1.024	5.681	802.792

Tabla A3-1. Matriz de tabulación cruzada a nivel 3 de CLC para el periodo 1982-1990, en hectáreas.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	T.82	
1	1,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,28		
2	0,02	3,56	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,6	
3	0	0	0,68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,68	
4	0	0	0	0,48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,48	
5	0	0	0	0	0,32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,32	
6	0	0	0,05	0	0	0,16	0,04	0,01	0	0	0,01	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,04	0	0	0	0	0	0	0,36	
7	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	
8	0	0,04	0,01	0	0	0	0	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22	
9	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13	
11	0,01	0,09	0,05	0,02	0,03	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	21,84	0,16	0,32	0	0,06	0	1,57	0,48	0,32	0,03	0,01	0	0,23	0,21	0,07	0	0	0	0	0	25,58	
12	0	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0,07	3,05	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,16	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,61	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0,02	0,01	1,17	0	0,18	0,02	0	0	0	0	0	0,07	0	0	0	0	0	0	1,49	
16	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0,02	0	0	0	0	0	0,01	0,06	0	0	0	0	0	0,6	
17	0,01	0,03	0,01	0	0	0	0	0,01	0	0	1,5	0,43	0,11	0	0,08	0	2,86	0,46	0	0	0	0,04	0,11	0,15	0,04	0	0	0	0	0	5,84	
18	0	0,01	0	0	0	0	0,03	0	0	0,01	0,41	0,18	0,01	0	0,17	0	0,07	1,91	0,08	0,25	0	0	0,18	1,59	0,14	0	0	0	0	0	5,04	
19	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,09	0,02	0	0,01	0,01	0,01	0,38	0	0	0	0	0	2,56
20	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	3,42	0	0	0,02	0,11	0,34	0	0	0	0	0	3,93	
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,45	0	0,02	0,07	0,34	0	0	0	0	6,05	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,45	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0,46	
23	0,01	0,03	0,01	0,03	0	0,01	0	0,01	0	0,01	0,1	0,01	0,01	0	0	0,06	0,08	0,09	0,31	0,07	0,03	0	13,33	0,41	0,36	0	0	0	0	0	14,97	
24	0	0,01	0	0	0	0,01	0,01	0,03	0,02	0	0,15	0	0	0	0	0	0	0,08	0	0,06	0,09	0	0,74	11,35	0,47	0	0	0	0	0	13,02	
25	0,01	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0,02	0	0,02	0	0	0,05	0,03	7,8	0	0	0	0	0	7,95	
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,47	0	0	0	0	0,47	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,12	0	0	0	0,12	
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0,13
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,71	0,71	
T.90	1,37	3,82	0,82	0,55	0,36	0,19	0,13	0,27	0,29	0,18	24,1	3,85	1,08	0,03	1,48	0,57	4,76	3,08	2,81	3,87	5,58	0,5	14,72	14,05	10,01	0,47	0,12	0	0,13	0,71	100	

Tabla A3-2. Matriz de tabulación cruzada a nivel 3 de CLC para el periodo 1982-1990, en porcentajes sobre el total.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	T.90
1	10.918	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.918	
2	930	29.750	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30.686
3	0	105	6.581	19	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.707
4	0	0	0	4.499	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.499
5	0	0	0	0	2.829	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.829
6	0	119	117	13	0	888	0	77	74	2	108	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135	0	0	0	0	0	0	0	1.559
7	1	176	161	19	0	0	330	0	90	135	7	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	153	0	0	0	0	0	0	0	1.101
8	0	1.523	338	17	0	0	0	212	129	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.218
9	0	1	0	0	0	0	0	0	2.260	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.336
10	0	76	0	11	0	0	0	0	0	1.420	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.507
11	45	5.477	4.515	350	305	660	439	4.085	250	237	164.052	1.619	0	0	0	0	0	1.734	511	8	14	2	5601	2.610	940	0	12	0	0	0	193.462
12	0	190	206	16	0	258	55	164	0	0	102	29.737	0	0	0	0	0	7	0	113	0	0	87	0	0	0	0	0	0	0	309.34
13	63	44	5	0	0	5	0	27	0	0	97	0	8.103	0	36	0	0	0	0	0	0	0	202	0	264	0	0	0	0	0	8.846
14	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	294	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	319
15	0	12	7	0	0	51	0	82	0	0	0	0	0	0	11.619	0	11	0	0	0	0	0	80	52	0	0	0	0	0	0	11.913
16	0	187	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.335	0	0	0	40	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	4.594
17	0	217	49	0	0	226	16	119	0	0	13	0	0	0	0	0	37.164	216	26	0	0	0	16	165	34	0	0	0	0	0	38.260
18	0	184	66	0	0	26	108	345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.151	0	20	28	0	118	514	189	0	0	0	0	0	24.747
19	0	257	0	0	0	19	0	28	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	22.244	21	0	0	15	6	47	0	0	0	0	0	22.660
20	0	79	0	8	0	6	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30.864	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	31.022
21	0	78	0	13	0	28	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	43.599	0	41	188	842	0	0	0	0	0	44.824
22	0	16	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.955	0	0	95	0	0	0	0	0	4.078
23	92	4.073	1.369	361	8	172	165	986	573	215	579	202	0	0	0	0	84	8	23	63	394	42	103.468	1.081	4.242	0	0	0	0	0	118.197
24	0	1.031	86	6	0	336	0	144	0	117	578	16	0	0	20	0	4	514	0	88	220	3	461	106.684	2.397	0	0	0	0	0	112.705
25	6	671	11	22	0	26	0	59	0	39	116	0	0	0	0	0	18	23	18	449	611	118	149	441	77.612	0	0	0	0	0	80.386
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.785	0	0	0	0	3.785
27	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	81	0	797	0	0	0	957
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	0	0	39
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.024	0	1.024
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.681	5.681
T.00	12.054	44.287	13.508	5.371	3.142	2.700	1.112	6.332	3.376	2.332	165.652	31.632	8.103	294	11.677	4.335	37.281	25.651	22.821	31.665	44.866	4.119	110.589	111.816	86.743	3.785	809	39	1.024	5.681	802.792

Tabla A3-3. Matriz de tabulación cruzada a nivel 3 de CLC para el periodo 1990-2000, en hectáreas.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	T.90	
1	1,36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,36	
2	0,12	3,71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,83	
3	0	0,01	0,82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,83	
4	0	0	0	0,56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,56	
5	0	0	0	0,00	0,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,35	
6	0	0,01	0,01	0	0	0,11	0	0,01	0,01	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0,18	
7	0	0,02	0,02	0	0	0	0,04	0	0,01	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0,13	
8	0	0,19	0,04	0	0	0	0	0,03	0,02	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,28	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,29	
10	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,19	
11	0,01	0,68	0,56	0,04	0,04	0,08	0,05	0,51	0,03	0,03	20,44	0,20	0	0	0	0	0	0,22	0,06	0	0	0	0,70	0,33	0,12	0	0	0	0	0	24,10	
12	0	0,02	0,03	0	0	0,03	0,01	0,02	0	0	0,01	3,70	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	3,84	
13	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	1,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0	0,03	0	0	0	0	0	1,10	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	
15	0	0	0	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0	0	0	0	1,45	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	1,49	
16	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,56	
17	0	0,03	0,01	0	0	0,03	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	4,63	0,03	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0	4,76	
18	0	0,02	0,01	0	0	0	0,01	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,88	0	0	0	0	0,01	0,06	0,02	0	0	0	0	0	3,05	
19	0	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,77	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	2,81	
20	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,85	
21	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,43	0	0,01	0,02	0,10	0	0	0	0	0	5,57	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,49	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0,50	
23	0,01	0,51	0,17	0,04	0	0,02	0,02	0,12	0,07	0,03	0,07	0,03	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01	0,05	0,01	12,89	0,13	0,53	0	0	0	0	0	14,72	
24	0	0,13	0,01	0	0	0,04	0	0,02	0	0,01	0,07	0	0	0	0	0	0	0,06	0	0,01	0,03	0	0,06	13,29	0,30	0	0	0	0	0	14,03	
25	0	0,08	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,08	0,01	0,02	0,05	9,67	0	0	0	0	9,99	
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,47	0	0	0	0	0,47	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0,10	0	0	0	0,12	
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0,13
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,71	0,71	
T.00	1,51	5,50	1,68	0,64	0,39	0,32	0,13	0,78	0,42	0,28	20,62	3,93	1,01	0,04	1,45	0,54	4,64	3,19	2,83	3,93	5,59	0,51	13,78	13,92	10,80	0,47	0,10	0	0,13	0,71	100	

Tabla A3-4. Matriz de tabulación cruzada a nivel 3 de CLC para el periodo 1990-2000, en porcentajes sobre el total.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	T.00
1	12.054	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.054	
2	0	44.286	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	44.287
3	11	1.159	12.252	28	0	0	0	0	49	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	13.508
4	0	14	0	5.356	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.371
5	0	0	0	0	3.142	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.142
6	0	68	42	13	0	2.120	31	0	0	0	1	12	0	0	0	0	83	11	0	0	0	0	80	33	208	0	0	0	0	0	2.700
7	0	57	56	4	32	0	443	207	52	38	59	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	34	36	86	0	0	0	0	0	1.112
8	48	3.079	421	326	826	42	0	627	226	362	13	0	0	0	0	17	0	255	0	0	0	0	54	37	0	0	0	0	0	0	6.332
9	0	5	0	4	0	0	0	59	3.308	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.376
10	0	8	0	0	0	0	0	0	70	2.250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	2.332
11	177	1.642	807	1.858	1.092	365	169	6.137	13	177	151.472	144	43	0	97	0	329	69	15	22	0	0	655	325	45	0	0	0	0	0	165.652
12	9	161	29	67	0	303	95	77	30	30	193	30.242	0	23	0	0	2	1	0	3	0	0	46	267	54	0	0	0	4	0	31.632
13	11	22	0	20	0	20	0	138	0	0	0	0	7.579	0	2	0	194	21	1	5	0	0	5	15	70	0	0	0	0	0	8.103
14	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	288	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	294
15	9	126	35	13	0	52	0	61	0	0	5	0	22	0	11.125	0	0	20	0	0	0	0	0	194	15	0	0	0	0	0	11.677
16	33	33	0	0	0	0	0	0	0	0	62	0	0	0	0	4.077	22	11	0	26	0	0	31	31	9	0	0	0	0	0	4.335
17	29	106	59	166	0	163	21	88	0	0	43	2	28	0	0	0	36.345	22	143	3	0	0	11	37	17	0	0	0	0	0	37.281
18	17	152	72	40	0	0	33	73	0	0	24	9	2	0	0	0	20	24.104	3	4	0	0	308	644	149	0	0	0	0	0	25.651
19	11	161	0	0	0	0	0	0	0	76	0	0	0	0	0	0	0	0	22.443	52	2	0	50	12	14	0	0	0	0	0	22.821
20	0	109	0	49	38	10	0	0	0	4	7	3	3	0	0	0	0	2	3	30.816	1	0	311	231	78	0	0	0	0	0	31.665
21	0	423	5	0	44	5	0	6	0	41	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	42.799	0	160	201	1.165	17	0	0	0	0	44.866
22	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.516	0	0	594	0	0	0	0	0	4.119
23	92	976	238	254	32	224	43	1.814	116	81	1.207	112	23	0	131	353	206	28	23	75	85	0	102.575	929	947	0	28	0	0	0	110.589
24	46	376	26	66	0	165	136	472	0	0	1.082	71	18	0	10	7	82	211	6	413	163	0	498	106.552	1.354	0	64	0	1	0	111.816
25	22	280	4	35	0	46	0	37	0	0	190	37	16	0	5	0	0	16	172	257	182	7	589	506	84.346	0	0	0	0	0	86.743
26	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.738	0	0	0	0	3.785
27	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	774	0	0	0	809
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	0	0	39
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.014	0	1.024
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.681	5.681
T.06	12.572	53.240	14.053	8.297	5.204	3.514	971	9.876	3.864	3.061	154.364	30.642	7.734	311	11.371	4.454	37.282	24.780	22.808	31.675	43.232	3.522	105.409	110.054	89.151	3.754	865	39	1.018	5.681	802.792

Tabla A3-5. Matriz de tabulación cruzada a nivel 3 de CLC para el periodo 2000-2006, en hectáreas.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	T.00
1	1,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,50	
2	0	5,52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,52	
3	0	0,14	1,53	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,68	
4	0	0	0	0,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,67	
5	0	0	0	0	0,39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,39	
6	0	0,01	0,01	0	0	0,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0	0,03	0	0	0	0	0,33	
7	0	0,01	0,01	0	0	0	0,06	0,03	0,01	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0,14	
8	0,01	0,38	0,05	0,04	0,10	0,01	0	0,08	0,03	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0,79	
9	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,42	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,29	
11	0,02	0,20	0,10	0,23	0,14	0,05	0,02	0,76	0	0,02	18,87	0,02	0,01	0	0,01	0	0,04	0,01	0	0	0	0	0,08	0,04	0,01	0	0	0	0	20,63	
12	0	0,02	0	0,01	0	0,04	0,01	0,01	0	0	0,02	3,77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,03	0,01	0	0	0	0	3,93	
13	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0,94	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0,99	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	
15	0	0,02	0	0	0	0,01	0	0,01	0	0	0	0	0	0	1,39	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0	1,45	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0,51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,52	
17	0	0,01	0,01	0,02	0	0,02	0	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0	0	4,53	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,63	
18	0	0,02	0,01	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,00	0	0	0	0	0,04	0,08	0,02	0	0	0	0	3,18	
19	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	2,80	0,01	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	2,85	
20	0	0,01	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,84	0	0	0,04	0,03	0,01	0	0	0	0	3,94	
21	0	0,05	0	0	0,01	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,33	0	0,02	0,03	0,15	0	0	0	0	5,60	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,44	0	0	0,07	0	0	0	0	0,51	
23	0,01	0,12	0,03	0,03	0	0,03	0,01	0,23	0,01	0,01	0,15	0,01	0	0	0,02	0,04	0,03	0	0	0,01	0,01	0	12,78	0,12	0,12	0	0	0	0	13,77	
24	0,01	0,05	0	0,01	0	0,02	0,02	0,06	0	0	0,13	0,01	0	0	0	0	0,01	0,03	0	0,05	0,02	0	0,06	13,27	0,17	0	0,01	0	0	13,93	
25	0	0,03	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0,03	0,02	0	0,07	0,06	10,51	0	0	0	0	10,77	
26	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,47	0	0	0	0,48	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,10	0	0	0,10	
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0,13
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,71	0,71
T.06	1,55	6,61	1,75	1,02	0,64	0,45	0,12	1,24	0,48	0,38	19,22	3,81	0,95	0,04	1,42	0,55	4,64	3,07	2,84	3,94	5,38	0,44	13,13	13,68	11,12	0,47	0,11	0,00	0,13	0,71	100

Tabla A3-6. Matriz de tabulación cruzada a nivel 3 de CLC para el periodo 2000-2006, en porcentajes sobre el total.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	T.82
1	10.292	1	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.307
2	1.098	27.658	0	185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	28.941
3	0	206	5.255	19	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	5.485
4	0	2	22	3.875	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.899
5	0	0	0	0	2.572	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.572
6	15	229	739	58	0	936	229	33	75	6	84	109	0	23	0	0	0	31	0	0	0	0	22	321	14	0	0	0	0	0	2.922
7	1	87	77	9	0	0	13	0	98	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	326
8	0	1.438	227	17	0	0	0	26	89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.796
9	133	5	0	21	0	0	0	0	636	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	833
10	0	79	0	11	0	0	0	0	44	926	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.060
11	289	10.718	5.114	2.632	2.184	1.022	193	7.022	714	648	138.564	2.231	2.188	18	658	151	12.522	4.875	3.154	345	84	0	5.420	3.061	1.452	0	19	0	1	0	205.276
12	9	348	194	91	228	356	137	13	0	51	443	23.265	1	171	0	0	38	1	0	16	0	0	41	183	33	0	0	0	4	0	25.620
13	72	79	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	4.270	0	0	0	162	21	0	0	0	0	2	18	285	0	0	0	0	0	4.923
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28
15	3	106	65	13	0	212	0	61	0	0	163	4	82	38	8.848	0	1.410	220	0	35	0	0	45	607	46	0	0	0	0	0	11.955
16	40	286	0	0	0	0	0	0	0	0	77	0	0	0	0	3.593	22	153	0	0	0	0	79	286	283	0	0	0	0	0	4.818
17	127	1.481	703	414	0	282	21	733	21	0	9.640	3.047	948	0	569	0	21.673	4.079	186	6	25	305	1.029	1.278	451	0	0	0	0	0	47.016
18	62	474	99	79	129	209	299	183	10	308	2.239	1.743	121	33	1.290	0	586	14.259	588	1.996	60	25	1.232	13.052	1.406	0	12	0	0	0	40.488
19	10	571	0	4	0	0	0	0	0	310	7	0	0	0	0	0	0	0	16.185	276	2	106	177	80	2.851	0	0	0	0	0	20.577
20	43	198	0	11	0	5	0	0	106	30	18	3	2	0	0	16	0	43	61	26.879	2	0	375	928	2.770	0	0	0	0	0	31.489
21	1	484	5	27	44	17	0	0	1.250	76	0	0	3	0	0	0	1	0	0	57	41.288	0	174	740	4.347	17	2	0	0	1	48.531
22	0	16	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.982	0	0	689	0	0	0	0	0	0	3.699
23	285	5.821	1.273	661	0	149	68	1.178	634	470	1.318	113	101	0	0	673	827	476	2.495	622	568	27	90.813	4.363	7.175	0	42	0	0	0	120.149
24	23	2.149	247	133	0	289	12	542	187	197	1.714	80	13	0	1	10	25	443	76	797	716	17	5.137	84.525	7.360	5	29	0	1	0	104.723
25	72	809	15	19	49	38	0	0	0	0	97	37	5	0	5	11	18	181	65	649	487	61	819	538	59.883	0	0	0	0	0	63.853
26	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	26	3.732	0	0	0	0	0	3.807
27	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	81	0	762	0	0	0	0	957
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	0	0	0	39
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.012	2	0	1.024
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	5.679	0	5.680
T.06	12.572	53.240	14.053	8.297	5.204	3.514	971	9.876	3.864	3.061	154.364	30.642	7.734	311	11.371	4.454	37.282	24.780	22.808	31.675	43.232	3.522	105.409	110.054	89.151	3.754	865	39	1.018	5.681	802.792

Tabla A3-7. Matriz de tabulación cruzada a nivel 3 de CLC para el periodo 1982-2006, en hectáreas.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	T.82
1	1,28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,28
2	0,14	3,45	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,61
3	0	0,03	0,65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,68
4	0	0	0	0,48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,48
5	0	0	0	0	0,32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,32
6	0	0,03	0,09	0,01	0	0,12	0,03	0	0,01	0	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0	0,35
7	0	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0,04
8	0	0,18	0,03	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,22
9	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,10
10	0	0,01	0	0	0	0	0		0,01	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,14
11	0,04	1,34	0,64	0,33	0,27	0,13	0,02	0,87	0,09	0,08	17,26	0,28	0,27	0	0,08	0,02	1,56	0,61	0,39	0,04	0,01	0	0,68	0,38	0,18	0	0	0	0	0	25,57
12	0	0,04	0,02	0,01	0,03	0,04	0,02	0	0	0,01	0,06	2,90	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,02	0	0	0	0	0	0	3,18
13	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,53	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0	0,61
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
15	0	0,01	0,01	0	0	0,03	0	0,01	0	0	0,02	0	0,01	0	1,10	0	0,18	0,03	0	0	0	0	0,01	0,08	0,01	0	0	0	0	0	1,50
16	0	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0,53	0	0,02	0	0	0	0	0,01	0,04	0,04	0	0	0	0	0	0,61
17	0,02	0,18	0,09	0,05	0	0,04	0	0,09	0	0	1,20	0,38	0,12	0	0,07	0	2,70	0,51	0,02	0	0	0,04	0,13	0,16	0,06	0	0	0	0	0	5,86
18	0,01	0,06	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,02	0	0,04	0,28	0,22	0,02	0	0,16	0	0,07	1,78	0,07	0,25	0,01		0,15	1,63	0,18	0	0	0	0	0	5,06
19		0,07	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0	2,02	0,03	0	0,01	0,02	0,01	0,36	0	0	0	0	0	2,56
20	0,01	0,02	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	3,35	0	0	0,05	0,12	0,35	0	0	0	0	0	3,93
21	0	0,06	0	0	0,01	0	0	0	0,16	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	5,14	0	0,02	0,09	0,54	0	0	0	0	6,04
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,37	0	0	0,09	0	0	0	0	0	0,46
23	0,04	0,73	0,16	0,08	0	0,02	0,01	0,15	0,08	0,06	0,16	0,01	0,01	0	0	0	0,10	0,06	0,31	0,08	0,07	0	11,31	0,54	0,89	0	0,01	0	0	0	14,96
24	0	0,27	0,03	0,02	0	0,04	0,00	0,07	0,02	0,02	0,21	0,01	0	0	0	0	0	0,06	0,01	0,10	0,09	0	0,64	10,53	0,92	0	0	0	0	0	13,04
25	0,01	0,10	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0,02	0,01	0,08	0,06	0,01	0,10	0,07	7,46	0	0	0	0	0	7,94
26	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,46	0	0	0		0,47
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0,09	0	0	0	0,11
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0,13
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,71	0,71
T.06	1,58	6,64	1,74	1,01	0,66	0,45	0,12	1,22	0,48	0,38	19,22	3,81	0,96	0,02	1,41	0,55	4,63	3,10	2,84	3,94	5,38	0,43	13,14	13,72	11,13	0,46	0,10	0,00	0,13	0,71	100

Tabla A3-8. Matriz de tabulación cruzada a nivel 3 de CLC para el periodo 1982-2006, en porcentajes sobre el total.

ANEXO 4

Descripción detallada del software utilizado para realizar las simulaciones de escenarios a futuro.

CLUE

Conversion of Land Use and its Effects modelling framework

El software se desarrolló para simular los cambios de usos del suelo mediante relaciones empíricamente cuantificadas entre los usos del suelo y sus factores explicativos o *driving factors*, en combinación con un modelo dinámico de competición entre los tipos de usos del suelo.

Tal y como muestra la figura A4-1, el modelo está dividido en dos módulos diferentes: un módulo de demandas no espaciales y un módulo de procedimientos de asignación espacialmente explícitos. El módulo no espacial calcula la superficie de cambio de todos los usos del suelo; se pueden especificar aquí diferentes tipos de modelos desde simples extrapolaciones de tendencias hasta modelos económicos complejos. El módulo de asignación está basado en una combinación de análisis empíricos y espaciales y modelados dinámicos; está dividido en cuatro categorías que conjuntamente crean una serie de condiciones y posibilidades para las cuales el modelo calcula la mejor solución mediante un procedimiento interactivo (Figura A4-2)

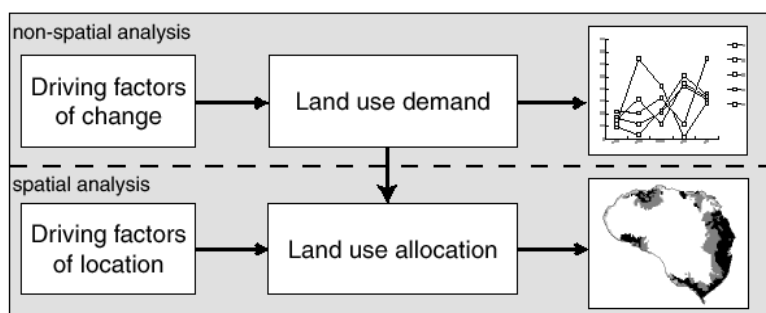


Figura A4-1. Descripción general del procedimiento de modelado. Fuente: Manual de ayuda del software.

Las políticas de ordenación y la tenencia de la tierra pueden influenciar en los patrones de cambios de usos del suelo, por ejemplo, indicando áreas donde los cambios de usos del suelo están restringidos. Por ello, es necesario recopilar información en la que se detalle en qué áreas hay o será implementada una política espacial. Algunas políticas espaciales restringen todos los cambios en el uso del suelo en un área determinada, como puede ser, una prohibición dentro de una reserva forestal; otras políticas restringen una serie de conversiones específicas de usos del suelo, por ejemplo, las construcciones

residenciales solo pueden darse en áreas designadas para la agricultura. Este tipo de conversiones pueden ser indicadas en la matriz de conversión de usos del suelo.

El módulo de configuración de Conversiones de usos del suelo determina las dinámicas temporales de las simulaciones. Para caracterizar individualmente los tipos de usos del suelo son necesarios dos clases de parámetros: las elasticidades de conversión y las secuencias de las transiciones de uso del suelo. El primer parámetro, las elasticidades de conversión, está relacionado con la reversibilidad de cambio de uso del suelo; hay usos del suelo que son más fácilmente convertibles que otros: las tierras agrícolas, por ejemplo, se convierten frecuentemente en urbanas, debido al propio desarrollo urbano, mientras que las zonas urbanas raramente cambian a otro uso del suelo. Estas diferencias de comportamiento pueden ser registradas mediante costos de conversión. Por lo tanto, para cada tipo de uso del suelo, se debe especificar un valor que represente la elasticidad en relación con el cambio, que va desde 0 (conversión fácil) a 1 (cambio irreversible). El usuario debe decidir cuál es el factor para cada uso, basado en su propio conocimiento o en el comportamiento del pasado.

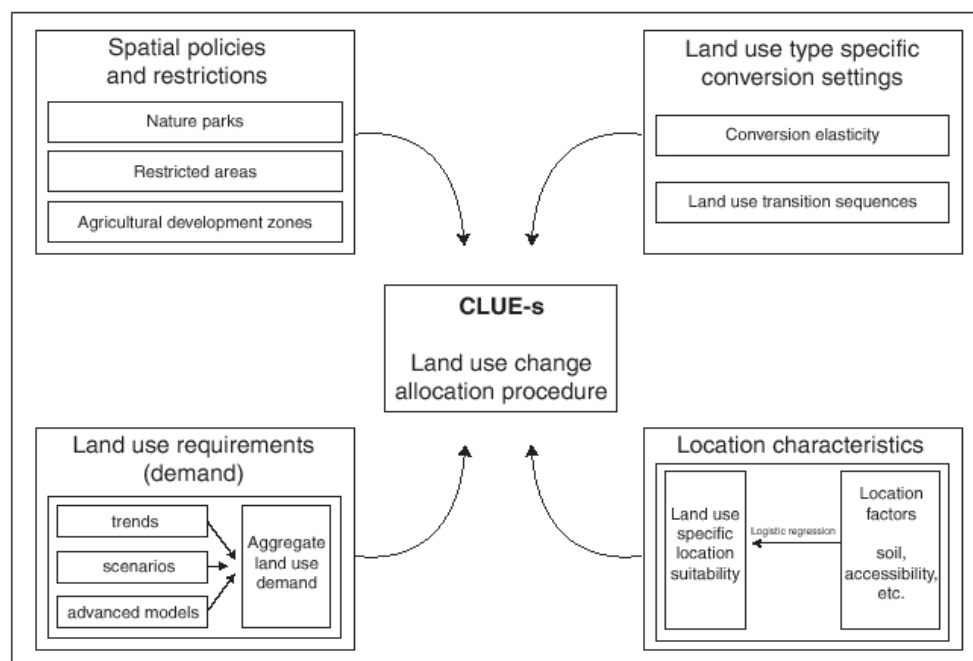


Figura A4-2. Descripción general del módulo de asignación. Fuente: Manual de ayuda del software.

El segundo parámetro que debe especificarse son las secuencias de transiciones y sus características temporales. Esto se registra mediante una matriz de conversión. Esta matriz define:

- A qué otros usos del suelo pueden ser convertidos o no los usos presentes (figura A4-3).
- En qué lugares una conversión puede ocurrir y en qué áreas no.
- Cuántos años (o pasos en el tiempo) debe mantenerse un tipo de uso del suelo antes de convertirse en otro. Esto puede ser relevante, por ejemplo, en el caso del crecimiento de un bosque: un bosque abierto no puede convertirse directamente en un bosque cerrado, ya que esto sucede después de un número de años.
- El número máximo de años que un tipo de uso del suelo sigue siendo el mismo.

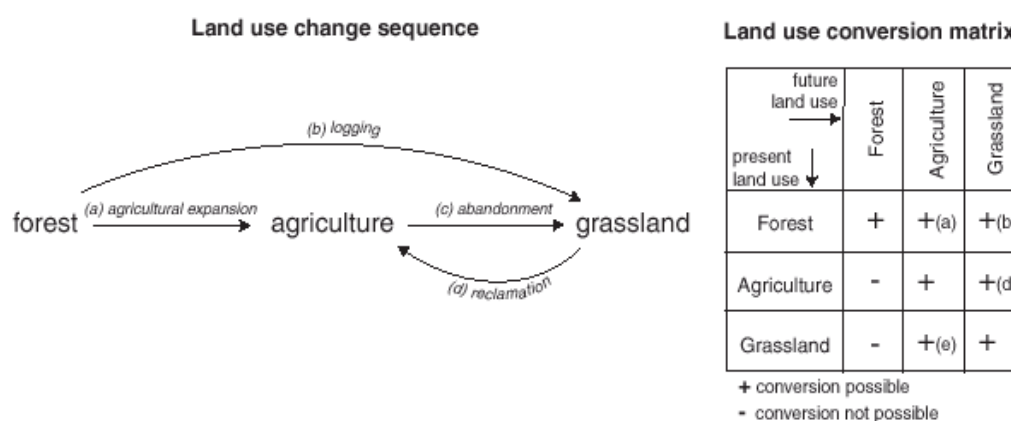


Figura A4-3. Ejemplo de translación de una secuencia de cambio de uso a una matriz de conversión. Fuente: Manual de ayuda del software.

El número mínimo y máximo de años antes de la conversión debe ser indicado en la tabla de conversión. El número exacto de años depende de la presión del uso del suelo y las condiciones específicas de ubicación. La simulación de estas interacciones en combinación con las restricciones establecidas en dicha tabla, determinara la duración del periodo antes de que la conversión se produzca. La figura A4-4 nos ofrece un ejemplo del uso de la matriz de conversión para una situación con solo tres usos del suelo diferentes.

En cuanto a los requerimientos de usos del suelo o demandas, éstas son calculadas como una parte específica de un escenario. Estas demandas limitan la simulación definiendo el total de cambio de cada uso del suelo que se producirá. El cálculo de estas demandas está basado en una serie de métodos, dependiendo del caso de estudio y del escenario que se quiera realizar. La técnica más común es la extrapolación de tendencias de cambios de usos del suelo en el pasado y utilizar estas tendencias para el futuro. Se tendrá diferentes archivos según los escenarios que se definan.

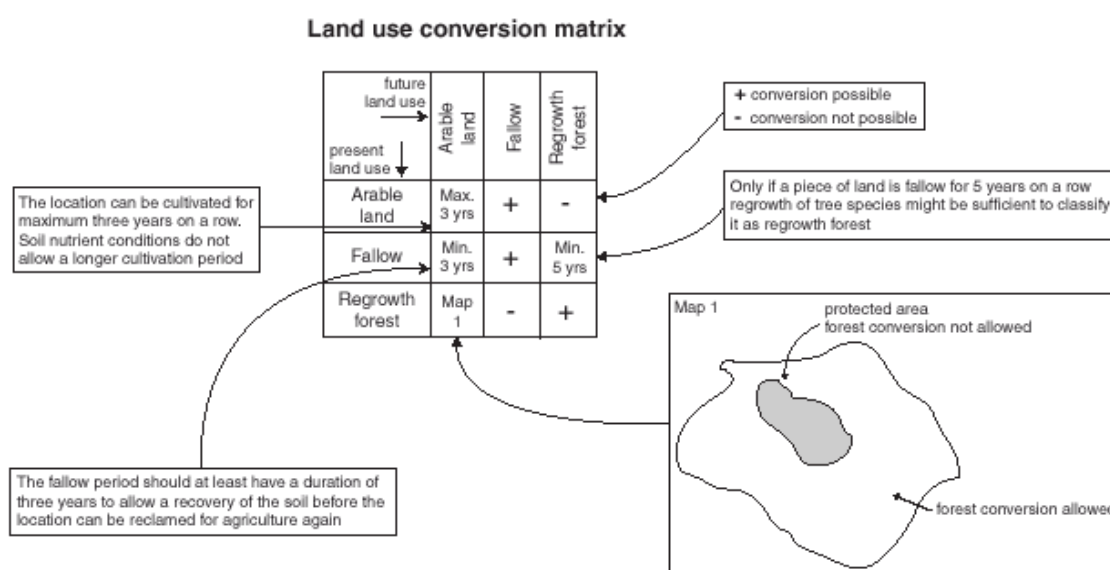


Figura A4-4. Ejemplo de una matriz de conversión con diferentes opciones implementadas en el modelo. Fuente: Manual de ayuda del software.

Hay que determinar también las características de la localización. Los cambios de usos del suelo se producirán en los lugares donde haya una mayor preferencia para ese tipo de uso en ese momento y en ese tiempo. La preferencia representa la interacción entre diferentes actores y los procesos de tomas de decisiones resultado de la configuración espacial de los usos del suelo. La preferencia de una localización está empíricamente estimada mediante una serie de factores que están basados en diferentes explicaciones de los determinantes de los cambios de usos del suelo. La preferencia está calculada mediante la siguiente formulación:

$$R_{ki} = a_k X_{1i} + b_k X_{2i} + \dots$$

donde R es la preferencia de dedicar el uso del suelo k en la localización i , $X_{1,2}$ son características biofísicas y socioeconómicas de la localización i , y a_k y b_k es el impacto relativo de estas características en la preferencia del usos del suelo k .

La especificación del modelo se debe basar en una revisión exhaustiva de todos los procesos importantes que influyen en la distribución espacial del uso del suelo en la región estudiada.

Un modelo estadístico puede ser desarrollado como un modelo logit binomial de dos opciones: ¿es posible convertir la localización i al uso del suelo k o no es posible?. Se asume que la preferencia R_{ki} es la respuesta a esta elección. Sin embargo, la preferencia R_{ki} no puede ser observada o medida directamente y tiene que ser, por lo tanto, calculada como una probabilidad. La función que

se refiere a estas probabilidades, con características de localización biofísicas y socioeconómicas, es definida en el siguiente modelo logit:

$$\text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} \dots + \beta_n X_{n,i}$$

donde P_i es la probabilidad de ocurrencia del uso del suelo en una celda en la localidad i y los X 's son los factores de localización. Los coeficientes (β) son estimados mediante regresión logística utilizando los patrones de usos del suelo actuales como variable dependiente.

Este método es similar a los análisis econométricos de cambios de usos del suelo. En los estudios econométricos se asume la maximización del beneficio, lo que limita las características de localización a los factores económicos. En las áreas de estudio se asume que las localizaciones están asociadas al tipo de uso del suelo con la mayor idoneidad. La idoneidad incluye ganancias monetarias, pero también puede incluir factores culturales u otros factores que conducen al comportamiento económico de asignación de usos. Este supuesto hace que sea posible incluir una amplia variedad de características de localización para estimar la función logit que define las probabilidades relativas de los diferentes usos del suelo.

La bondad del ajuste puede ser evaluada mediante el método ROC. Si el ROC está por debajo de 0,700 hay que reconsiderar los factores explicativos que han sido elegidos en la regresión logística.

El procedimiento de asignación se realiza de la siguiente manera: Cuando todos los inputs mencionados anteriormente están introducidos, el modelo CLUE calcula, mediante pasos de tiempo discretos, los cambios de usos del suelo más probables según las restricciones y conveniencias descritas anteriormente. Dicho procedimiento está resumido en la figura A4-5.

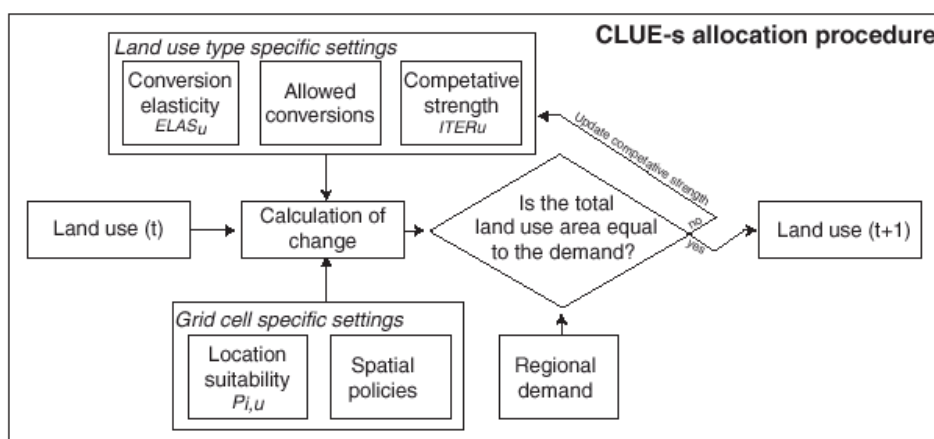


Figura A4-5. Diagrama de flujo del modulo de asignación. Fuente: Manual de ayuda del software.

Para asignar los cambios de usos del suelo se toman en consideración los siguientes pasos:

1. El primer paso incluye la determinación de todas las celdas en las que el cambio está permitido. Las celdas que son parte de un área protegida o que están bajo un tipo de uso del suelo que no puede cambiar son excluidas en los cálculos posteriores. También se identifican otras localizaciones donde ciertas conversiones no están permitidas según lo que especifica la matriz de conversión.
2. Para cada celda i la probabilidad total de cambio ($TPROP_{i,u}$) es calculada para cada uso del suelo u de acuerdo con:

$$TPROP_{i,u} = P_{i,u} + ELAS_u + ITER_u$$

donde $P_{i,u}$ es la idoneidad de la localización i para el uso del suelo u (basado en el modelo logit), $ELAS_u$ es la elasticidad de conversión para el uso del suelo u y $ITER_u$ es una variable de iteración que es específica del uso del suelo y es indicativa de la fortaleza competitiva relativa del tipo de uso del suelo. $ELAS_u$, la elasticidad del uso del suelo para cambiar de valor, solo se agrega si la celda i ya está bajo el uso del suelo u en el año considerado.

3. Se realiza una asignación preliminar con un mismo valor de la variable de iteración $ITER_u$ para cada tipo de uso del suelo, mediante la asignación del tipo de uso del suelo con la mayor probabilidad en la celda. Las conversiones que no están permitidas de acuerdo con la matriz de conversión, no se asignaran. Este proceso de asignación provocara que un cierto número de celdas cambien de uso.
4. El área total asignada para cada uso del suelo es comparada con las demandas de uso del suelo. En los usos del suelo donde el área asignada es menor que el área demandada, el valor de iteración de la variable incrementa. En los usos del suelo donde se ha producido demasiada asignación, el valor se reduce. A través de este procedimiento es posible que la idoneidad basada en factores de localización se revoque debido a la variable de iteración en relación con las diferencias en la demanda regional. El procedimiento seguido responde a una asignación de abajo-arriba basada en la idoneidad de localización y a una asignación de arriba-abajo basada en la demanda regional.

Los pasos 2 y 4 se repiten hasta que las demandas están correctamente asignadas. Cuando la asignación sea igual a la demanda, el mapa final se guardara y pasara al siguiente cálculo.

Algunos de los cambios asignados son irreversibles, mientras que otros dependen de los cambios producidos en pasos anteriores. Por lo tanto, las simulaciones tienden obedecer a patrones de cambios de usos del suelo no lineales, característica de los sistemas complejos.

El modelo incluye además un módulo de *Neighborhood characteristic*, donde se puede añadir un factor de vecindad a cada usos del suelo que se especifique.

LCM

Land Change Modeler for ecological sustainability (LCM)

Es un software integrado que permite llevar a cabo diferentes tareas que comprenden análisis de cambios en la cobertura y usos del suelo pasados, modelado de los procesos de cambios de uso, predicción de cambios de uso en el futuro, evaluación de las implicaciones de estos cambios para la biodiversidad, y la evaluación de intervenciones de planeamiento para la manutención de la sustentabilidad ecológica.

La predicción de cambios en LCM es un proceso que avanza paso a paso desde el Análisis de cambios, al modelador del potencial de transición y a la predicción de cambios. Se basa en los cambios históricos que se han sucedido del tiempo¹ al tiempo² para proyectar futuros escenarios. Este anexo se centrará en los dos últimos pasos.

Conocer los cambios que han ocurrido en el pasado puede ayudar a predecir cambios futuros, por lo que este modulo posee herramientas para la modelación de cambios predecibles basadas en análisis de cadenas de Markov y en Autómatas celulares (CA).

El Modelador de Potencial de Transición identifica el potencial que cada uso del suelo tiene para cambiar de estado. Agrupa las transiciones entre dos mapas en submodelos; cada submodelo es identificado con un grupo de variables explicativas que pueden ser estáticas o dinámicas. Dichos submodelos son evaluados empíricamente mediante las variables explicativas mencionadas que son utilizadas para modelar el proceso de cambio histórico; estas transiciones pueden ser modeladas según redes neuronales de perceptrones multicapas (MLP), regresión logística (RL) o con una herramienta de aprendizaje basada en instancias de similitud media (SimWeight). La evaluación puede hacerse de modo automático o semiautomático.

SimWeight es un algoritmo de aprendizaje de la herramienta basada en instancias de similitud media (*Similarity-weighted instance-based machine learning*). Utiliza una variable mínimamente modificada por el procedimiento

del vecino más cercano a K (*K-nearest neighbor*). Se debe especificar el tamaño de la muestra, que debe ser lo suficientemente grande para ser representativo, es decir, tener al menos 1.000 píxeles, y el parámetro K, el cual gobierna el grado de generalización de la solución.

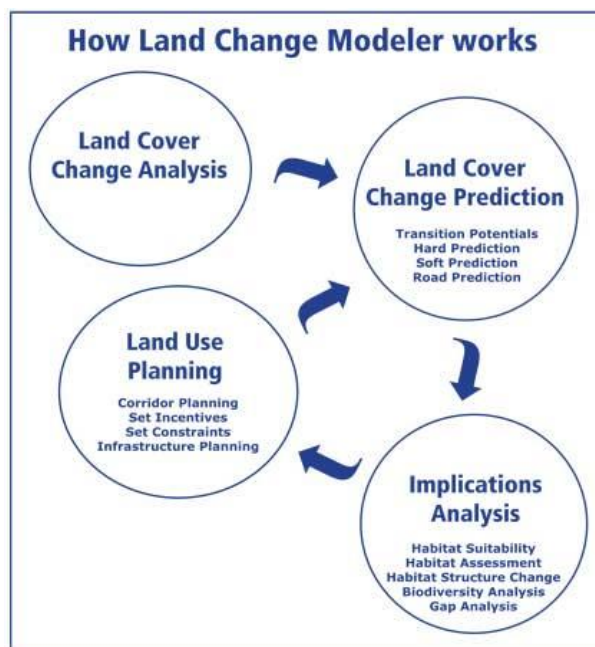


Figura A4-6. Funcionamiento del software LCM integrado en IDRISI. Fuente: Manual de ayuda del programa, versión Taiga.

La LR que se puede llevar a cabo es de tipo binomial y para la predicción se utiliza el método de probabilidad máxima (*Maximum likelihood*)

MLP (figura A4-7) puede utilizarse de modo automático, de manera que el propio programa toma sus decisión acerca de los parámetros a utilizar y como deberían ser cambiados para modelar mejor los datos; éste, mediante un procedimiento de aprendizaje dinámico, monitorea y modifica el índice de aprendizaje inicial y final; si se detectan oscilaciones significativas en el error RMS los índices de aprendizaje se reducirán a la mitad y el proceso comenzara nuevamente.

MLP asigna aleatoriamente los píxeles en dos grupos: pixel de entrenamiento y píxeles de validación, y otorga una medida de precisión y de destreza (*skill*). Si se pose una única transición hay dos opciones de predicción de un pixel: que éste cambie o que no cambie; existe, por tanto, un 50% de probabilidad de obtener la respuesta correcta. Para compensar esta dependencia de la precisión esperada se utiliza un estadístico de destreza, el cual varía de -1 a 1 donde 0 significa que el modelo obtenido es igual al que se obtendría por azar y 1 indicaría una predicción perfecta; este valor es independiente de la prevalencia de transición o de la persistencia.

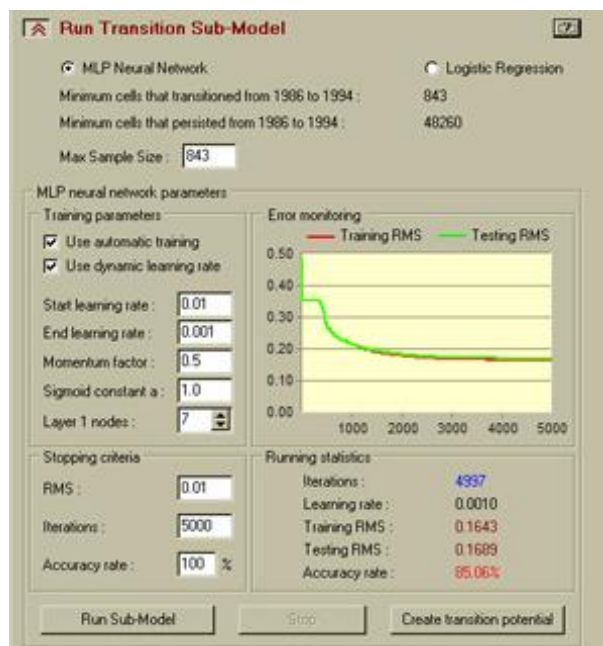


Figura A4-7. Ejemplo del módulo de Potencial de Transición y MLP en LCM. Fuente: Manual de ayuda del programa, versión Taiga.

La precisión esperada está determinada por:

$$E(A) = 1 / (T+P)$$

donde, $E(A)$ es la precisión esperada, T es el numero de transiciones en el submodelo, y P es el numero de clases de persistencia (el numero de clases “desde” en el submodelo).

La medida de destreza (*skill*) esta expresada como:

$$S = (A - E(A)) - (1 - E(A))$$

donde, A es la precisión medida y $E(A)$ es la precisión esperada.

Como resultado de este proceso se obtienen mapas de potencial de transición. El resultado del modelo, una vez calibrado, es utilizado para predecir escenarios.

La versión Selva del programa incluye información de la contribución de cada variable al modelo de red neuronal en formato HTML. Este fichero permite al usuario evaluar la importancia de cada variable o la presencia de interacciones entre variables.

Este modulo cuenta también con un panel opcional para transformar las variables. Dicho panel provee una selección de transformaciones opcionales (*evidence likelihood*, logaritmo natural, exponencial, logística, raíz cuadrada y fuerza).

En la Predicción de Cambios se utilizan los índices de cambios y el modelo de potencial de transición que se habrá generado con anterioridad. El modelo determinara cómo las variables influyen en los cambios futuros, cuántos cambios sucedieron ente el tiempo1 y el tiempo2, y luego calculara una cantidad relativa de transición a una fecha futura dada por el usuario. Al igual que CLUE, permite la incorporación de restricciones e incentivos como pueden ser mapas de zonificación.

La cantidad de cambio es modelada, por tanto, por medio del análisis de cadenas de Markov o bien especificando la matriz de probabilidad de transición desde un modelo externo. Dicha matriz expresa la probabilidad de que un pixel de cierta clase cambie a cualquier otra clase o permanezca estable en el próximo periodo de tiempo.

Las restricciones e incentivos son incorporados por medio de un mapa donde se especifica de forma unificada dichas áreas. Los valores de 0 en el mapa son tratados como restricciones absolutas, los valores de 1 no están restringidos y los valores mayores a 1 actúan como incentivos. El modulo permite también la incorporación de cambios planeados en la infraestructuras.

La predicción puede realizarse de manera dura (*hard prediction*) o blanda (*soft prediction*); el primero está basado en un modelo de asignación competitiva del terreno (se aplica una distribución multi-objetiva de terrenos, MOLA) mientras que el segundo produce un mapa de vulnerabilidad de cambio para el grupo de transiciones seleccionado, indicando el grado que tiene cada área para precipitar el cambio.

El software posee también un panel de validación. Éste permite determinar la calidad del mapa de predicción en relación con el mapa real, mediante la realización de una tabulación cruzada de 3 líneas entre el último mapa, el mapa de predicción y el mapa de la realidad, obteniendo así valores de aciertos (*hits*), falsas alarmas (*false alarms*) y errores de omisión (*misses*).

Si se desea más información sobre alguno de estos dos modelos, pueden consultarse los artículos de Veldkamp y Fresco (1996a,b y 1997), Verburg et al. (2002) o Verburg y Overmars (2007) en el caso de CLUE, y Eastman (2007), Sangermano et al. (2010), Eastman (2012), Pérez-Vega et al. (2012) o Sangermano et al. (2012) en el caso de LCM.

ANEXO 5

Restricciones de usos del suelo utilizadas en la elaboración de los mapas de simulación a futuro.

Zonificación		Restricciones		Restr. CLC	A favorecer	Favor. CLC
P.N. Cumbre, circo y lagunas de Peñalara	Máxima reserva	Suelo no urbanizable de protección		11, 12, 133, 14	Regeneración de formaciones vegetales singulares (abedulares, queijares, acebedas, sabinas). Repoblación de frondosas, Mantenimiento de la actividad ganadera	311
	Especial protección		Lo que no son aprovechamientos tradicionales	11, 12, 133, 14		
	Interés educativo					
	Amortiguación y preservación		Lo que no son aprovechamientos tradicionales. No intensificación de aprovechamientos ganaderos	11, 12, 133, 14, 231		
	Forestales y pecuarias		Lo que no son usos forestales y ganaderos. No intensificación de aprovechamientos ganaderos	11, 12, 133, 14, 2		
	Uso recreativo		No intensificación de aprovechamientos ganaderos	231		
	Uso especial		Valdeski: todos			
P.R. Cuenca alta del Manzanares	Reserva natural integral	Actividades extractivas, graveras y canteras	Actividades humanas, edificaciones de todo tipo	11, 12, 13, 14		
	Reserva natural educativa					
	Parque comarcal agropecuario protector		Los que no son usos tradicionales. Viviendas e industrias.		Extensión de los pastizales autóctonos	321
	P.C. agropecuario productor				Introducción de nuevas explotaciones ganaderas	
	P.C. agropecuario a regenerar		Ocupaciones residenciales o industriales			
	Planeamiento					

	Zonificación		Restricciones	Restr. CLC	A favorecer	Favor. CLC
	Urbanístico					
	Área de Transición	Ídem que los anteriores	Ídem que los anteriores	11, 12, 13, 14		
P.R. Cursos bajos de los ríos Manzanares y Jarama (Parque del SE)	Reserva integral	Suelo no urbanizable de protección	Cese de la explotación minera	11, 12, 13, 14 ¹	Propiciar usos agrícolas, forestales y ganaderos. Conservación y potenciación de sistemas agro-silvopastorales	2, 31, 32
	Reserva natural					
	Degradadas a regenerar					
	Explotación ordenada de los recursos naturales					
	Destino agrario, forestal, recreativo, ambiental y usos especiales					
	Periférica de protección					
	Planeamiento Urbanístico					
P.R. Curso medio del río Guadarrama y su entorno	Máxima protección:	Suelo no urbanizable de protección. Extracciones de tierra, actuaciones que introduzcan elementos artificiales que limiten el campo visual, Transformación de forestal a agrícola		11, 12, 13, 14, 3>2	Recuperación de formaciones vegetales degradadas, implantación de especies propias en sotos y riberas. Fomentar la repoblación	333 y 334 > 32 y 31.
	Sotos y vegas del Guadarrama-Aulencia					
	Encinares sobre la rampa de la sierra					
	Encinares sobre la capa detrítica					
	Masas mixtas de encina y pino sobre la campiña detrítica					

Zonificación		Restricciones		Restr. CLC	A favorecer	Favor. CLC
	Zonas de protección y mejora:					
	Masas mixtas de encina y pino sobre la rampa de la sierra				Ídem anterior y sustitución de plantaciones de pino por encinar	333 y 334 > 32 y 31. 312 > 311
	Etapas de sustitución del encinar sobre la rampa de la sierra				Recuperación de formaciones vegetales degradadas, implantación de especies propias en sotos y riberas. Fomentar la repoblación	333 y 334 > 32 y 31.
	Etapas de sustitución del encinar sobre la campiña detrítica					
	Zonas de la campiña:					
	Pinares de repoblación sobre la campiña detrítica					
	Cultivos de secano sobre la campiña detrítica.					
Idem anterior y Expansión agraria frente a la urbanización	333 y 334 > 32 y 31. 31, 2					
Refugio de fauna Laguna de San Juan y su entorno ⁱ	Uso general					
	Uso especial					
	Área protegida		Construcción de todo tipo de edificaciones	11, 12, 133, 14		
El Regajal-Mar de Ontígola	Reserva natural	Suelo no urbanizable de protección, extracción minera (excepto Gravera del Monte de la casa de los huevos) Edificar, nuevos viales.		11, 12, 13, 14		
	Zona Periférica de Protección					

Zonificación		Restricciones		Restr. CLC	A favorecer	Favor. CLC
ZEPA y R.N. 2000 Cuenca de los ríos Alberche y Cofio ⁱⁱ	Conservación prioritaria A	Vertederos	Suelo no urbanizable de protección. Roturaciones de forestal a agrícola, nuevas construcciones; regadío, ganadería intensiva y actividades extractivas de nueva instalación; vertederos	11, 12, 133, 14, 3 > 2	Prácticas agrarias y forestales. Forestación de cultivos agrícolas abandonados, conservación de dehesas y zonas arbóreas y actividades ganaderas extensivas	21, 22, 24, 2 abandonado > 31, 32 244, 31
	Conservación prioritaria B					
	Uso general					
LIC Sierra del Guadarrama	Reserva	Suelo no urbanizable de protección	Nuevas actividades extractivas, mineras, canteras o graveras. Transformación de terrenos forestales en cultivos agrícolas.	11, 12, 13, 14, 3 > 2	Formaciones adehesadas. Restauración y recuperación de formaciones vegetales naturales	244, 31 y 32
	Máxima protección					
	Conservación y mantenimiento de usos tradicionales					
	Aprovechamiento ordenado de los recursos naturales					
	Asentamientos Tradicionales					
	Planeamiento Urbanístico					
	Paisaje Protegido	Suelo no urbanizable de protección	Nuevas actividades extractivas, mineras, canteras o graveras. Transformación de terrenos forestales en cultivos agrícolas.	11, 12, 13, 14, 3 > 2		
	Zonas especiales		Pastizales artificiales, actividades mineras	231, 131, 132		

Zonificación			Restricciones	Restr. CLC	A favorecer	Favor. CLC
	Zonas de Transición					
Parque Nacional Sierra de Guadarrama	Zonas de reserva	Suelo No urbanizable de Protección	Máximas. Sólo actividades científicas y de gestión.		Regeneración.	Conservación de formaciones autóctonas. Restauración de comunidades vegetales degradadas. Impulso y mantenimiento de usos agropecuarios, fomento de prácticas agro-silvopastorales, mantenimiento de formaciones adehesadas.
	Máxima protección		Pastizales artificiales, minería, infraestructuras y construcciones		Conservación de los recursos	
	Aprovechamiento ordenado de los R. Naturales		Pastizales artificiales, minería salvo preexistente, construcciones.			
	Conservación y Mantenimiento de usos tradicionales		Pastizales artificiales, minería salvo preexistente, vertederos y construcciones		Mantenimiento de usos agropecuarios y aprovechamientos tradicionales	
	Asentamientos Tradicionales		Pastizales artificiales, minería, vertederos y construcciones			
	Zonas Especiales		Pastizales artificiales, minería, vertederos y edificaciones			
	Zonas de Transición		Evitar un urbanismo desordenado y masivo. Se permiten los pastizales artificiales, actividades mineras preexistentes que pueden ser ampliadas. No se podrán instalar vertederos.		Posibilidad de desarrollo de los núcleos urbanos actuales. Preservar la calidad y el valor paisajístico. Mantenimiento de aprovechamientos tradicionales.	
	Paisaje Protegido (Abantos)	No Urbaniza.	Minería (aunque sí preexistente), vertederos		En los suelos ya urbanos dentro del ENP pueden localizarse construcciones agrícolas, ganaderas o forestales.	
	Cerca Histórica de Felipe II					

Tendencia a eliminación de minas, extractivas, vertederos. Construcción de nuevos núcleos urbanos o elementos artificiales. Actividades industriales sólo en terrenos urbanos. Introducción de especies autóctonas. Transformación de montes o forestal a cualquier otro uso.

Zonificación			Restricciones		Restr. CLC	A favorecer		Favor. CLC
	Área de Planeamiento Urbanístico			PORN				
Ley Forestal 16/1995	Montes de régimen especial	Roturaciones de forestal a cultivos agrícolas	Suelo no urbanizable de especial protección		11, 12, 133, 14 3>2	Fomentar la reforestación y regeneración de montes y terrenos forestales desarbolados y en superficies de vocación forestal dedicadas a cultivos marginales o abandonados (prioridad en zonas incendiadas)	3; 243 > 31 y 32; 334>31,32; 32,33> 31;	
	Montes de utilidad pública				3>2			
	Montes protectores							
	Montes protegidos							
	Parques forestales periurbanos				Fomento de parques forestales			
Ley protección embalses y zonas húmedas de CM 7/1990 ⁱⁱⁱ	Zona Periférica de 50 m	Suelo no urbanizable, de protección especial. Actividad que afecte al estado natural de las aguas o sus valores paisajísticos y ecológicos			11, 12, 13, 14			
Ley de Montes 43/2003 y 10/2006		Cambio de uso requiere informe. Cambio de uso forestal de cualquier monte en 30 años, por incendio			334 (no cambio o autorización)			
Ley de aguas 1/2001	Zona de policía de 100 m	<i>consultar planes hidrológicos de cada cuenca</i>			Cualquier cambio de uso			
Ley del sector ferroviario 39/2003	70 m de las aristas exteriores de la explanación.				Cualquier cambio de uso			

	Zonificación	Restricciones	Restr. CLC	A favorecer	Favor. CLC
Ley de carreteras, CM 3/1991	A ambos márgenes de la carretera: 50m autopista y autovía, 25m red principal	No se podrán realizar obras de construcción de nueva planta.	Cualquier cambio de uso		

ⁱ El Refugio de fauna Laguna de San Juan y su entorno, no ha sido incluido en los modelos debido a su escasa extensión.

ⁱⁱ La zonificación de la ZEPA y Red Natura 2000 Cuencas y Encinares de los ríos Alberche y Cofio son las correspondientes a la propuesta realizada por el Grupo de investigación “Tecnologías de la Información Geográfica” del CCHS, CSIC. La zonificación de la Zona de Especial Conservación (ZEC) Cuenca de los ríos Alberche y Cofio, así como la ZEC Cuencas de los ríos Jarama y Henares, no pudieron ser introducidas en los modelos ya que se solicitó la información cartográfica en formato shape o cualquier formato compatible a la Dirección General de Medio Ambiente de la Comunidad De Madrid y la solicitud fue denegada.

ⁱⁱⁱ Los embalses que poseen zonificación propia (El Atazar, El Villar, La Jarosa, Los Arroyos, Navacerrada, Pedrezuela, Picadas, Pinillas, Puentes Viejas, Riosequillo y Valmayor) han sido incluidos, además, con su respectiva zonificación.

ANEXO 6

Ejemplo de cuestionarios realizados para la elaboración del escenario de recesión económica.

Las encuestas se acompañaron con un breve resumen sobre el estado de la cuestión, mostrándose la evolución que han seguido los usos del suelo sobre los que se preguntan desde 1990 hasta 2006 en la CM, en hectáreas y porcentajes; así mismo, se incluían una serie de mapas de localización de dichos usos y de los cambios que se han producido. Las preguntas abiertas tenían un espacio para responder más extenso del que aquí se muestra. Además, en cada encuesta, el encuestado debía señalar el organismo al que pertenece.

III.I Uso del suelo Urbano

Pregunta 1:

¿Cómo cree que va evolucionar el uso del suelo URBANO hasta el año 2025? Por favor, señale un porcentaje aproximado del cambio:

- Evolución creciente
 - Menos del 15 %
 - Entre 15 y 25 %
 - Entre 25 y 35%
 - Entre 35 y 45%
 - Más de 45 %
 - Otro (indique cuánto): _____
 - NS/NC
- Evolución decreciente
 - Menos del 15 %
 - Entre 15 y 25 %
 - Entre 25 y 35%
 - Entre 35 y 45%
 - Más de 45 %
 - Otro (indique cuánto): _____
 - NS/NC
- Se mantendrá más o menos estable al año 2006
- NS/NC

Pregunta 2:

¿Podría indicar, de forma aproximada, dónde cree usted que se producirá dicho cambio? (*por favor utilice el mapa que crea más conveniente para dibujar dicha/s área/s*) Si cree que el uso URBANO aumentará en un sitio pero decrecerá en otro, por favor indique con una A dónde cree que aumentará y con una D dónde cree que decrecerá.

Si desea hacer algún comentario o hacer una explicación en texto hágalo aquí

Pregunta 3:

¿Por qué estima dicho crecimiento/decrecimiento/estabilidad? Por favor, seleccione una o varias de las opciones si se ajusta y justifique brevemente.

- ☐ Debido a políticas urbanísticas
- ☐ Debido a políticas de transporte
- ☐ Debido a políticas forestales
- ☐ Debido a políticas medioambientales
- ☐ Debido a restricciones ambientales
- ☐ Otros (indique cual): _____
- ☐ NS/NC

Justifique su respuesta

Si desea hacer cualquier comentario por favor hágalo aquí

III.II Uso del suelo Industrial y comercial

Pregunta 1:

¿Cómo cree que va evolucionar uso del suelo INDUSTRIAL hasta el año 2025? Por favor, señale un porcentaje aproximado del cambio:

- ☐ Evolución creciente
 - ☐ Menos del 15 %
 - ☐ Entre 15 y 25 %
 - ☐ Entre 25 y 35%
 - ☐ Entre 35 y 45%
 - ☐ Más de 45 %
 - ☐ Otro (indique cuánto): _____
 - ☐ NS/NC
- ☐ Evolución decreciente
 - ☐ Menos del 15 %
 - ☐ Entre 15 y 25 %
 - ☐ Entre 25 y 35%
 - ☐ Entre 35 y 45%
 - ☐ Más de 45 %
 - ☐ Otro (indique cuánto): _____
 - ☐ NS/NC

- Se mantendrá más o menos estable al año 2006
- NS/NC

Pregunta 2:

¿Podría indicar más o menos dónde cree usted que se producirá dicho cambio? (*por favor utilice el mapa que crea más conveniente para dibujar dicha/s área/s*). Si cree que uso INDUSTRIAL aumentará en un sitio pero decrecerá en otro, por favor indique con una A dónde cree que aumentará y con una D dónde cree que decrecerá.

Si desea hacer algún comentario o hacer una explicación en texto hágalo aquí

Pregunta 3:

¿Por qué estima dicho crecimiento/decrecimiento/estabilidad? Por favor, seleccione una o varias de las opciones si se ajusta, y justifique brevemente.

- Debido a políticas de transporte
- Debido a políticas forestales
- Plan Forestal
- Debido a políticas medioambientales
- Debido a restricciones ambientales
- Otros (indique cual): _____
- NS/NC

Justifique su respuesta:

Si desea hacer cualquier comentario por favor hágalo aquí

III.III Uso del suelo Tierras de labor

Pregunta 1:

¿Cómo cree que va evolucionar uso del suelo TIERRAS DE LABOR hasta el año 2025? Por favor, señale un porcentaje aproximado del cambio:

- Evolución creciente
 - Menos del 2 %
 - Entre 2 y 5 %
 - Entre 5 y 10 %
 - Entre 15 y 20%
 - Más de 20 %

- Otro (indique cuánto): _____
- NS/NC
- Evolución decreciente
 - Menos del 2 %
 - Entre 2 y 5 %
 - Entre 5 y 10 %
 - Entre 15 y 20%
 - Más de 20 %
 - Otro (indique cuánto): _____
 - NS/NC
- Se mantendrá más o menos estable al año 2006
- NS/NC

Pregunta 2:

¿Podría indicar más o menos dónde cree usted que se producirá dicho cambio? (*por favor utilice el mapa que crea más conveniente para dibujar dicha/s área/s*) Si cree que uso TIERRAS DE LABOR aumentará en un sitio pero decrecerá en otro, por favor indique con una A dónde cree que aumentará y con una D dónde cree que decrecerá.

Si desea hacer algún comentario o hacer una explicación en texto hágalo aquí

Pregunta 3:

¿Por qué estima dicho crecimiento/decrecimiento/estabilidad? Por favor, seleccione una o varias de las opciones si se ajusta, y justifique brevemente.

- Debido a políticas urbanísticas
- Debido a políticas de transporte
- Debido a políticas forestales
- Plan Forestal
- Debido a subvenciones agrarias (nacionales, europeas)
- Debido a subvenciones forestales (nacionales, europeas)
- Debido a políticas medioambientales
- Debido a restricciones ambientales
- Otros (indique cual): _____
- NS/NC

Justifique su respuesta:

Si desea hacer cualquier comentario por favor hágalo aquí

III.IV Uso del suelo Agricultura heterogénea

Pregunta 1:

¿Cómo cree que va evolucionar uso del suelo ZONAS AGRICOLAS HETEREOGENEAS hasta el año 2025? Por favor, señale un porcentaje aproximado del cambio:

- Evolución creciente
 - Menos del 2 %
 - Entre 2 y 5 %
 - Entre 5 y 10 %
 - Entre 15 y 20%
 - Más de 20 %
 - Otro (indique cuánto): _____
 - NS/NC
- Evolución decreciente
 - Menos del 2 %
 - Entre 2 y 5 %
 - Entre 5 y 10 %
 - Entre 15 y 20%
 - Más de 20 %
 - Otro (indique cuánto): _____
 - NS/NC
- Se mantendrá más o menos estable al año 2006
- NS/NC

Pregunta 2:

¿Podría indicar más o menos dónde cree usted que se producirá dicho cambio? (*por favor utilice el mapa que crea más conveniente para dibujar dicha/s área/s*) Si cree que uso ZONAS AGRICOLAS HETEROGENEAS aumentara en un sitio pero decrecerá en otro, por favor indique con una A dónde cree que aumentará y con una D dónde cree que decrecerá.

Si desea hacer algún comentario o hacer una explicación en texto hágalo aquí

Pregunta 3:

¿Por qué estima dicho crecimiento/decrecimiento/estabilidad? Por favor, seleccione una o varias de las opciones si se ajusta, y justifique brevemente.

- Debido a políticas urbanísticas
- Debido a políticas de transporte
- Debido a políticas forestales
- Plan Forestal
- Debido a subvenciones agrarias (nacionales, europeas)
- Debido a subvenciones forestales (nacionales, europeas)
- Debido a políticas medioambientales
- Debido a restricciones ambientales

- Otros (indique cual): _____
- NS/NC

Justifique su respuesta:

Si desea hacer cualquier comentario por favor hágalo aquí

III.V Uso del suelo Bosques

Pregunta 1:

¿Cómo cree que va evolucionar uso del suelo BOSQUES hasta el año 2025? Por favor, señale un porcentaje aproximado del cambio:

- Evolución creciente
 - Menos del 2 %
 - Entre 2 y 5 %
 - Entre 5 y 10 %
 - Entre 15 y 20 %
 - Más de 20 %
 - Otro (indique cuánto): _____
 - NS/NC
- Evolución decreciente
 - Menos del 2 %
 - Entre 2 y 5 %
 - Entre 5 y 10 %
 - Entre 15 y 20 %
 - Más de 20 %
 - Otro (indique cuánto): _____
 - NS/NC
- Se mantendrá más o menos estable al año 2006
- NS/NC

Pregunta 2:

¿Podría indicar más o menos dónde cree usted que se producirá dicho cambio? (*por favor utilice el mapa que crea más conveniente para dibujar dicha/s área/s*) Si cree que uso BOSQUES aumentará en un sitio pero decrecerá en otro, por favor indique con una A dónde cree que aumentará y con una D dónde cree que decrecerá.

Si desea hacer algún comentario o hacer una explicación en texto hágalo aquí

Pregunta 3:

¿Por qué estima dicho crecimiento/decrecimiento/estabilidad? Por favor, seleccione una o varias de las opciones si se ajusta, y justifique brevemente.

- ☐ Debido a políticas urbanísticas
- ☐ Debido a políticas de transporte
- ☐ Debido a políticas forestales
- ☐ Plan Forestal
- ☐ Debido a incendios forestales
- ☐ Debido a subvenciones agrarias (nacionales, europeas)
- ☐ Debido a subvenciones forestales (nacionales, europeas)
- ☐ Debido a políticas medioambientales
- ☐ Debido a restricciones ambientales
- ☐ Otros (indique cual): _____
- ☐ NS/NC

Justifique su respuesta:

Si desea hacer cualquier comentario por favor hágalo aquí

III.VI Uso del suelo Matorral y pastizal

Pregunta 1:

¿Cómo cree que va evolucionar uso del suelo MATORRAL y PASTIZAL hasta el año 2025?
Por favor, señale un porcentaje aproximado del cambio:

- ☐ Evolución creciente
 - ☐ Menos del 2 %
 - ☐ Entre 2 y 5 %
 - ☐ Entre 5 y 10 %
 - ☐ Entre 15 y 20 %
 - ☐ Más de 20 %
 - ☐ Otro (indique cuánto): _____
 - ☐ NS/NC
- ☐ Evolución decreciente
 - ☐ Menos del 2 %
 - ☐ Entre 2 y 5 %
 - ☐ Entre 5 y 10 %
 - ☐ Entre 15 y 20 %
 - ☐ Más de 20 %
 - ☐ Otro (indique cuánto): _____
 - ☐ NS/NC
- ☐ Se mantendrá más o menos estable al año 2006
- ☐ NS/NC

Pregunta 2:

¿Podría indicar más o menos dónde cree usted que se producirá dicho cambio? *(por favor utilice el mapa que crea más conveniente para dibujar dicha/s área/s)* Si cree que uso MATORRAL y PASTIZAL aumentará en un sitio pero decrecerá en otro, por favor indique con una A dónde cree que aumentará y con una D dónde cree que decrecerá.

Si desea hacer algún comentario o hacer una explicación en texto hágalo aquí

Pregunta 3:

¿Por qué estima dicho crecimiento/decrecimiento/estabilidad? Por favor, seleccione una o varias de las opciones si se ajusta, y justifique brevemente.

- ☐ Debido a políticas urbanísticas
- ☐ Debido a políticas de transporte
- ☐ Debido a políticas forestales
- ☐ Plan Forestal
- ☐ Debido a subvenciones agrarias (nacionales, europeas)
- ☐ Debido a subvenciones forestales (nacionales, europeas)
- ☐ Debido a políticas medioambientales
- ☐ Debido a restricciones ambientales
- ☐ Otros (indique cual): _____
- ☐ NS/NC

Justifique su respuesta:

Si desea hacer cualquier comentario por favor hágalo aquí

III.VI. Encuesta general (todos los usos del suelo)

Pregunta: USOS DEL SUELO ARTIFICIALES

1.1) ¿Cómo cree que va evolucionar cada uno de los siguientes usos del suelo hasta el año 2025? Por favor, señale un porcentaje aproximado del cambio:

USO DEL SUELO URBANO:

- ☐ Evolución creciente
 - ☐ Menos del 15 %
 - ☐ Entre 15 y 25 %

- Entre 25 y 35%
- Entre 35 y 45%
- Más de 45 %
- Otro (indique cuánto): _____
- NS/NC
- Evolución decreciente
 - Menos del 15 %
 - Entre 15 y 25 %
 - Entre 25 y 35%
 - Entre 35 y 45%
 - Más de 45 %
 - Otro (indique cuánto): _____
 - NS/NC
- Se mantendrá más o menos estable al año 2006
- NS/NC

USO DEL SUELO INDUSTRIAL/COMERCIAL

- Evolución creciente
 - Menos del 15 %
 - Entre 15 y 25 %
 - Entre 25 y 35%
 - Entre 35 y 45%
 - Más de 45 %
 - Otro (indique cuánto): _____
 - NS/NC
- Evolución decreciente
 - Menos del 15 %
 - Entre 15 y 25 %
 - Entre 25 y 35%
 - Entre 35 y 45%
 - Más de 45 %
 - Otro (indique cuánto): _____
 - NS/NC
- Se mantendrá más o menos estable al año 2006
- NS/NC

1.2) ¿Podría indicar más o menos dónde cree usted que se producirá dicho cambio? Por favor, intente diferenciar entre el uso del suelo URBANO y el INDUSTRIAL. Si no puede, por favor, señale donde cree que se dará un cambio las zonas artificiales en general (*por favor utilice el mapa que crea más conveniente para dibujar dicha/s área/s*) Si cree el uso del suelo URBANO o INDUSTRIAL aumentará en un sitio pero decrecerá en otro, por favor indique con una A dónde cree que aumentará y con una D dónde cree que decrecerá.

Si desea hacer algún comentario o hacer una explicación en texto hágalo aquí

1.3) ¿Por qué estima dicho crecimiento/decrecimiento/estabilidad? Por favor, seleccione una o varias de las opciones si se ajusta, y justifique brevemente. Por favor, intente diferenciar entre el uso del suelo URBANO y el INDUSTRIAL/COMERCIAL.

- Debido a políticas urbanísticas
- Debido a políticas de transporte
- Debido a políticas forestales
- Debido a subvenciones agrarias (nacionales, europeas)
- Debido a subvenciones forestales (nacionales, europeas)
- Debido a políticas medioambientales
- Debido a restricciones ambientales
- Otros (indique cual): _____
- NS/NC

Justifique su respuesta:

Pregunta 2: USOS DEL SUELO AGRICOLAS

2.1) ¿Cómo cree que va evolucionar cada uno de los siguientes usos del suelo hasta el año 2025? Por favor, señale un porcentaje aproximado del cambio:

USO DEL SUELO TIERRAS DE LABOR:

- Evolución creciente
 - Menos del 2 %
 - Entre 2 y 5 %
 - Entre 5 y 10 %
 - Entre 15 y 20%
 - Más de 20 %
 - Otro (indique cuánto): _____
 - NS/NC
- Evolución decreciente
 - Menos del 2 %
 - Entre 2 y 5 %
 - Entre 5 y 10 %
 - Entre 15 y 20%
 - Más de 20 %
 - Otro (indique cuánto): _____
 - NS/NC
- Se mantendrá más o menos estable al año 2006
- NS/NC

USO DEL SUELO ZONAS AGRICOLAS HETEROGENEAS

- Evolución creciente
 - Menos del 2 %
 - Entre 2 y 5 %
 - Entre 5 y 10 %
 - Entre 15 y 20%
 - Más de 20 %

- Otro (indique cuánto): _____
- NS/NC
- Evolución decreciente
 - Menos del 2 %
 - Entre 2 y 5 %
 - Entre 5 y 10 %
 - Entre 15 y 20%
 - Más de 20 %
 - Otro (indique cuánto): _____
 - NS/NC
- Se mantendrá más o menos estable al año 2006
- NS/NC

2.2) ¿Podría indicar más o menos dónde cree usted que se producirá dicho cambio? Por favor, intente diferenciar entre el uso del suelo TIERRAS DE LABOR y ZONAS AGRICOLAS HETEROGENEAS. Si no puede, por favor, señale donde cree que se dará un cambio en los suelos agrícolas en general. *(por favor utilice el mapa que crea más conveniente para dibujar dicha/s área/s)* Si cree el uso del suelo TIERRAS DE LABOR y ZONAS AGRICOLAS HETEROGENEAS aumentará en un sitio pero decrecerá en otro, por favor indique con una A dónde cree que aumentará y con una D dónde cree que decrecerá.

Si desea hacer algún comentario o hacer una explicación en texto hágalo aquí

2.3) ¿Por qué estima dicho crecimiento/decrecimiento/estabilidad? Por favor, seleccione una o varias de las opciones si se ajusta, y justifique brevemente. Por favor, intente diferenciar entre el uso del suelo TIERRAS AGRICOLAS y ZONAS AGRICOLAS HETEROGENEAS.

- Debido a políticas urbanísticas
- Debido a políticas de transporte
- Debido a políticas forestales
- Plan Forestal
- Debido a subvenciones agrarias (nacionales, europeas)
- Debido a subvenciones forestales (nacionales, europeas)
- Debido a políticas medioambientales
- Debido a restricciones ambientales
- Otros (indique cual): _____
- NS/NC

Justifique su respuesta:

Pregunta 3: USOS DEL SUELO FORESTALES

3.1) ¿Cómo cree que va evolucionar cada uno de los siguientes usos del suelo hasta el año 2025? Por favor, señale un porcentaje aproximado del cambio:

USO DEL SUELO BOSQUES:

- Evolución creciente
 - Menos del 2 %
 - Entre 2 y 5 %
 - Entre 5 y 10 %
 - Entre 15 y 20 %
 - Más de 20 %
 - Otro (indique cuánto): _____
 - NS/NC
- Evolución decreciente
 - Menos del 2 %
 - Entre 2 y 5 %
 - Entre 5 y 10 %
 - Entre 15 y 20 %
 - Más de 20 %
 - Otro (indique cuánto): _____
 - NS/NC
- Se mantendrá más o menos estable al año 2006
- NS/NC

USO DEL SUELO MATORRAL Y PASTIZAL:

- Evolución creciente
 - Menos del 2 %
 - Entre 2 y 5 %
 - Entre 5 y 10 %
 - Entre 15 y 20 %
 - Más de 20 %
 - Otro (indique cuánto): _____
 - NS/NC
- Evolución decreciente
 - Menos del 2 %
 - Entre 2 y 5 %
 - Entre 5 y 10 %
 - Entre 15 y 20 %
 - Más de 20 %
 - Otro (indique cuánto): _____
 - NS/NC
- Se mantendrá más o menos estable al año 2006
- NS/NC

3.2) ¿Podría indicar más o menos dónde cree usted que se producirá dicho cambio? Por favor, intente diferenciar entre el uso del suelo BOSQUES y MATORRAL Y PASTIZAL. Si no puede, por favor, señale donde cree que se dará un cambio en los suelos agrícolas en general. (*por favor utilice el mapa que crea más conveniente para dibujar dicha/s área/s*) Si cree el uso del suelo BOSQUES y MATORRAL Y PASTIZAL aumentará en un sitio pero decrecerá en otro, por favor indique con una A dónde cree que aumentará y con una D dónde cree que decrecerá.

Si desea hacer algún comentario o hacer una explicación en texto hágalo aquí

3.3) ¿Por qué estima dicho crecimiento/decrecimiento/estabilidad? Por favor, seleccione una o varias de las opciones si se ajusta, y justifique brevemente. Por favor, intente diferenciar entre el uso del suelo BOSQUES y MATORRAL Y PASTIZAL.

- ☐ Debido a políticas urbanísticas
- ☐ Debido a políticas de transporte
- ☐ Debido a políticas forestales
- ☐ Plan Forestal
- ☐ Debido a subvenciones agrarias (nacionales, europeas)
- ☐ Debido a subvenciones forestales (nacionales, europeas)
- ☐ Debido a políticas medioambientales
- ☐ Debido a restricciones ambientales
- ☐ Otros (indique cual): _____
- ☐ NS/NC

Justifique su respuesta:

Si desea hacer un comentario acerca de cualquier aspecto de la encuesta, por favor hágalo aquí

ANEXO 7

Se incluyen en este anexo los mapas de usos del suelo de los años 1982, 1990, 2000 y 2006, después del proceso de corrección de errores.

Están representados en tamaño DIN A-3 y a nivel 2 y 3 de CLC.

Son los correspondientes con las figuras A7-1 a A7-8.

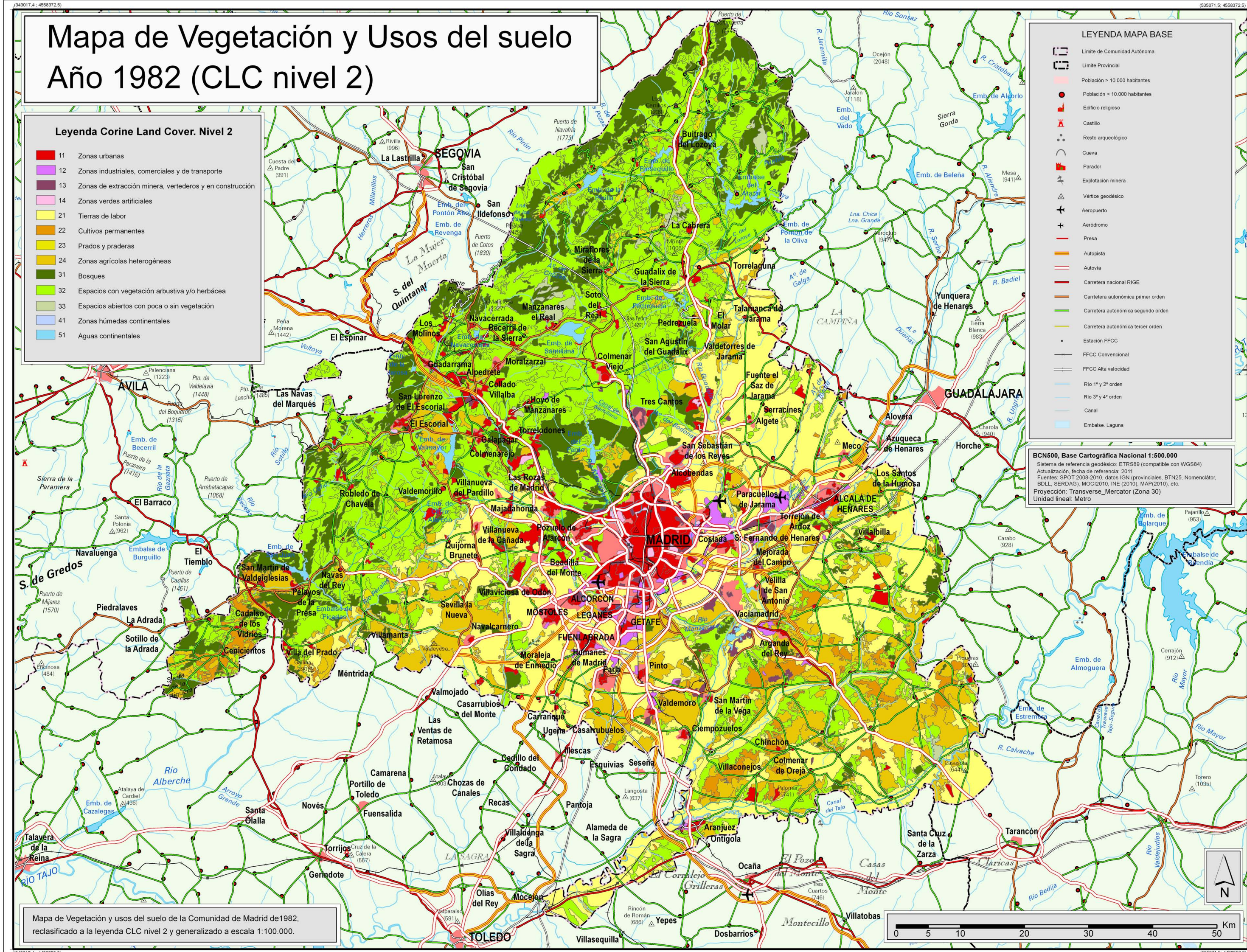


Figura A7-1. Mapa de usos del suelo de 1982, representado a nivel 2 de CORINE Land Cover.

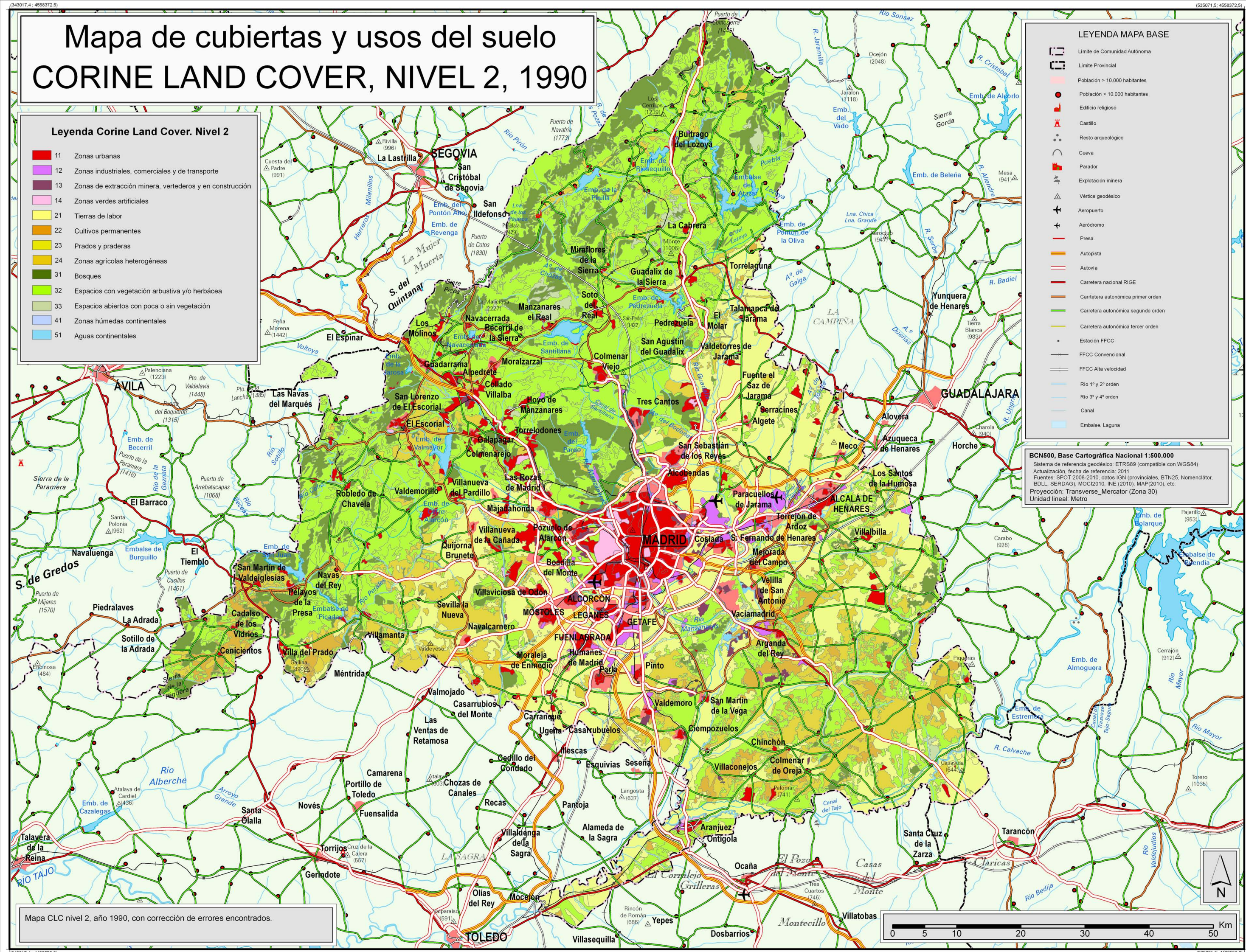


Figura A7-2. Mapa de usos del suelo de 1990 representado a nivel 2 de CORINE Land Cover, con errores cartográficos corregidos.

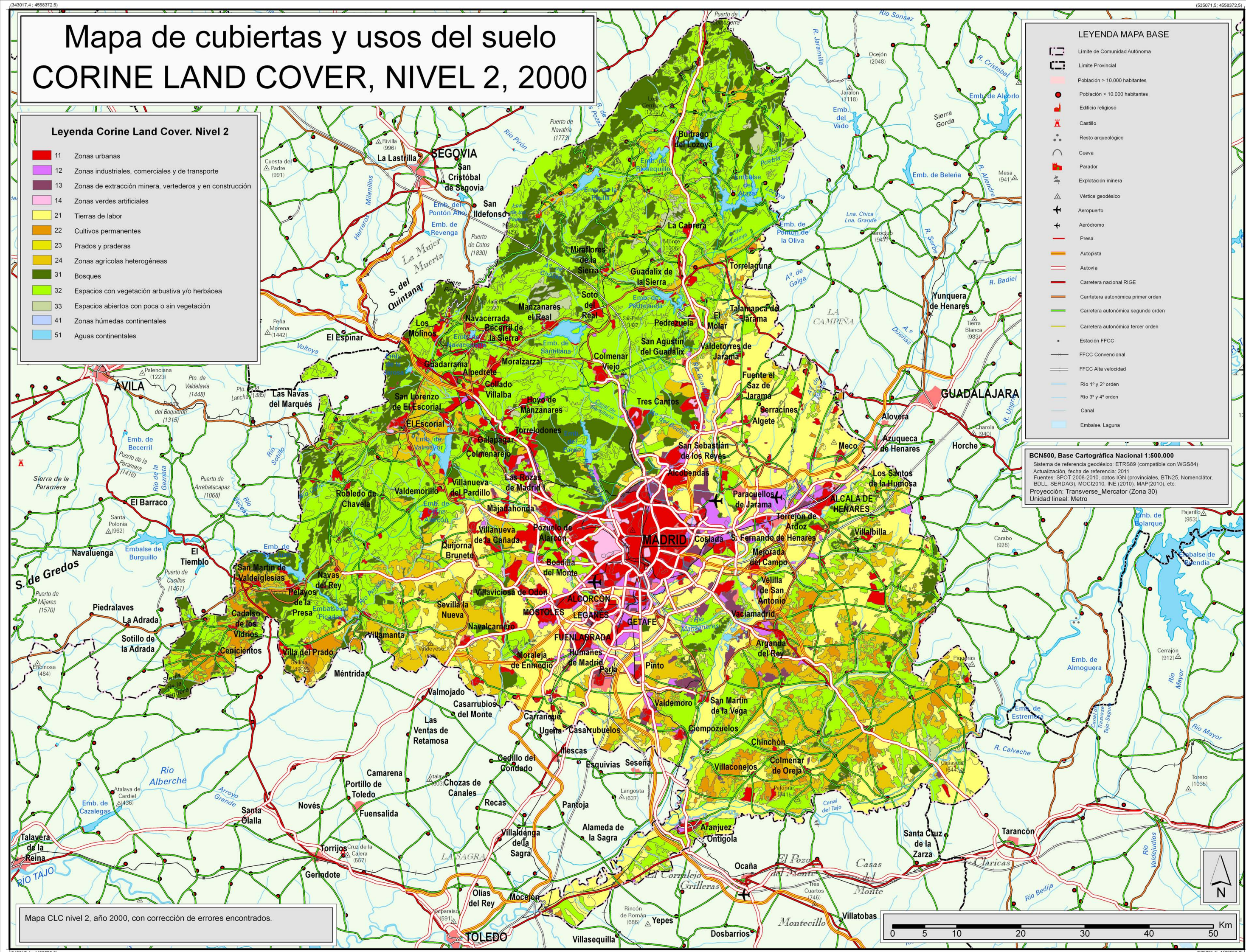


Figura A7-3. Mapa de usos del suelo de 2000 representado a nivel 2 de CORINE Land Cover, con errores cartográficos corregidos.

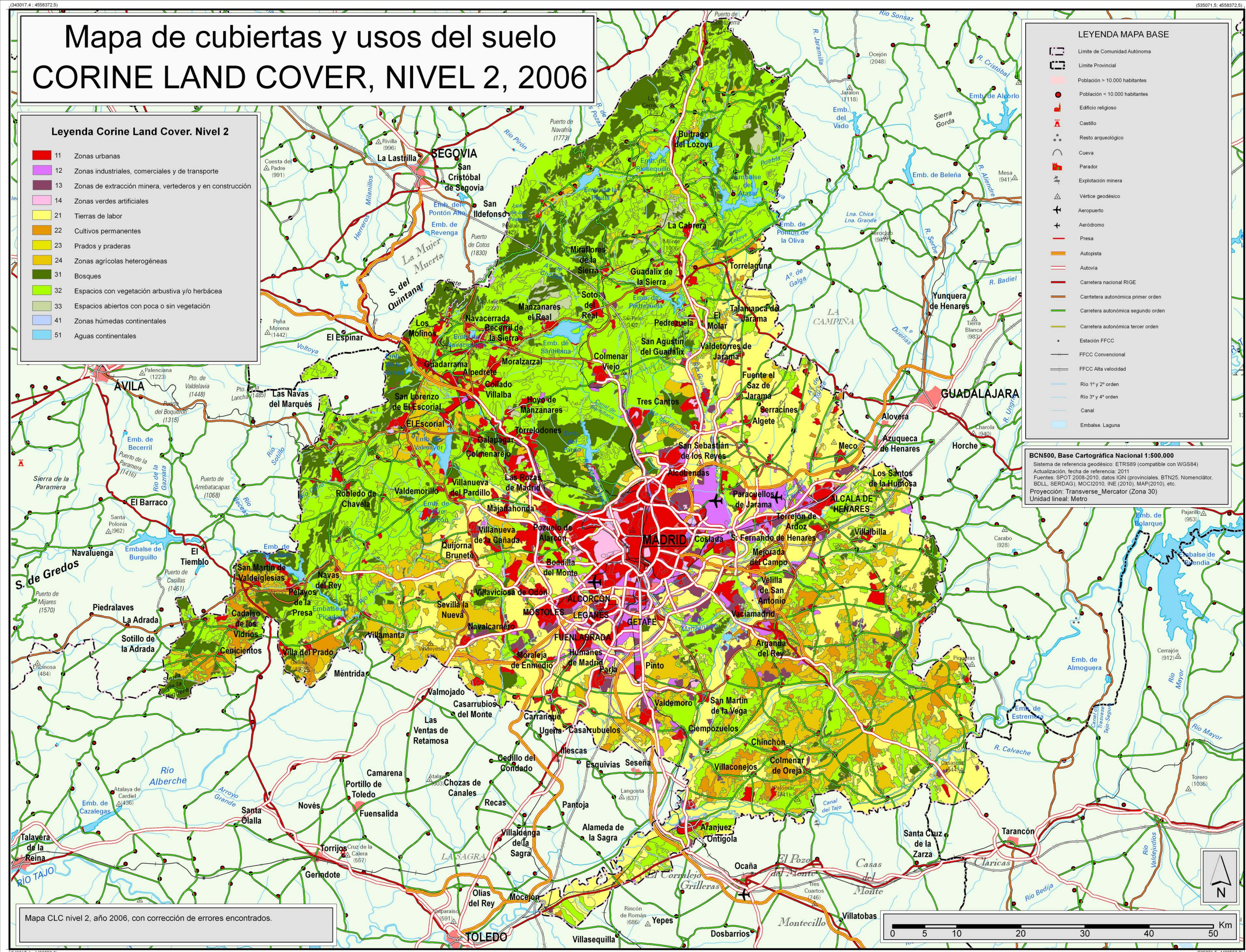


Figura A7-4. Mapa de usos del suelo de 2006 representado a nivel 2 de CORINE Land Cover, con errores cartográficos corregidos.

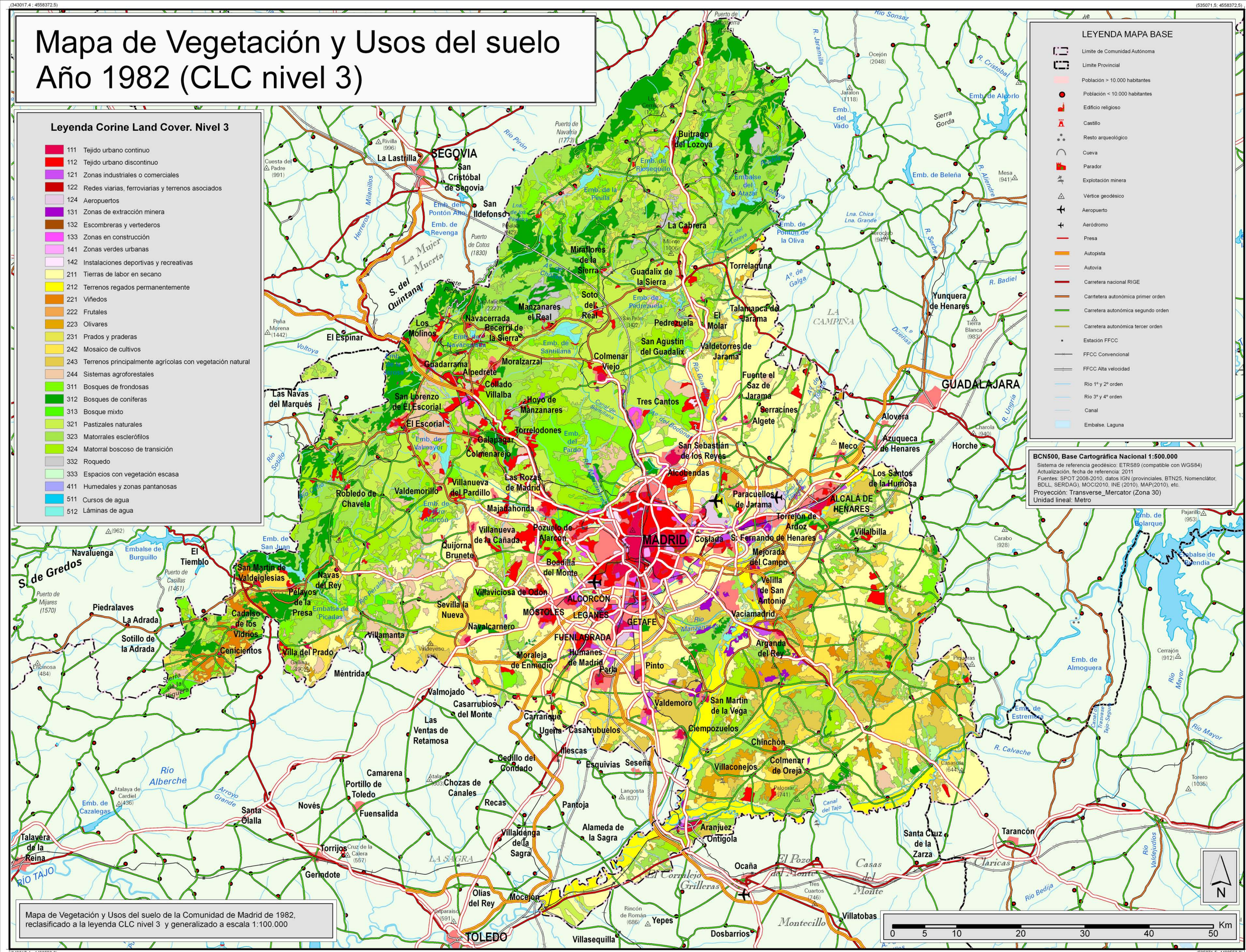


Figura A7-5. Mapa de usos del suelo de 1982, representado a nivel 3 de CORINE Land Cover.

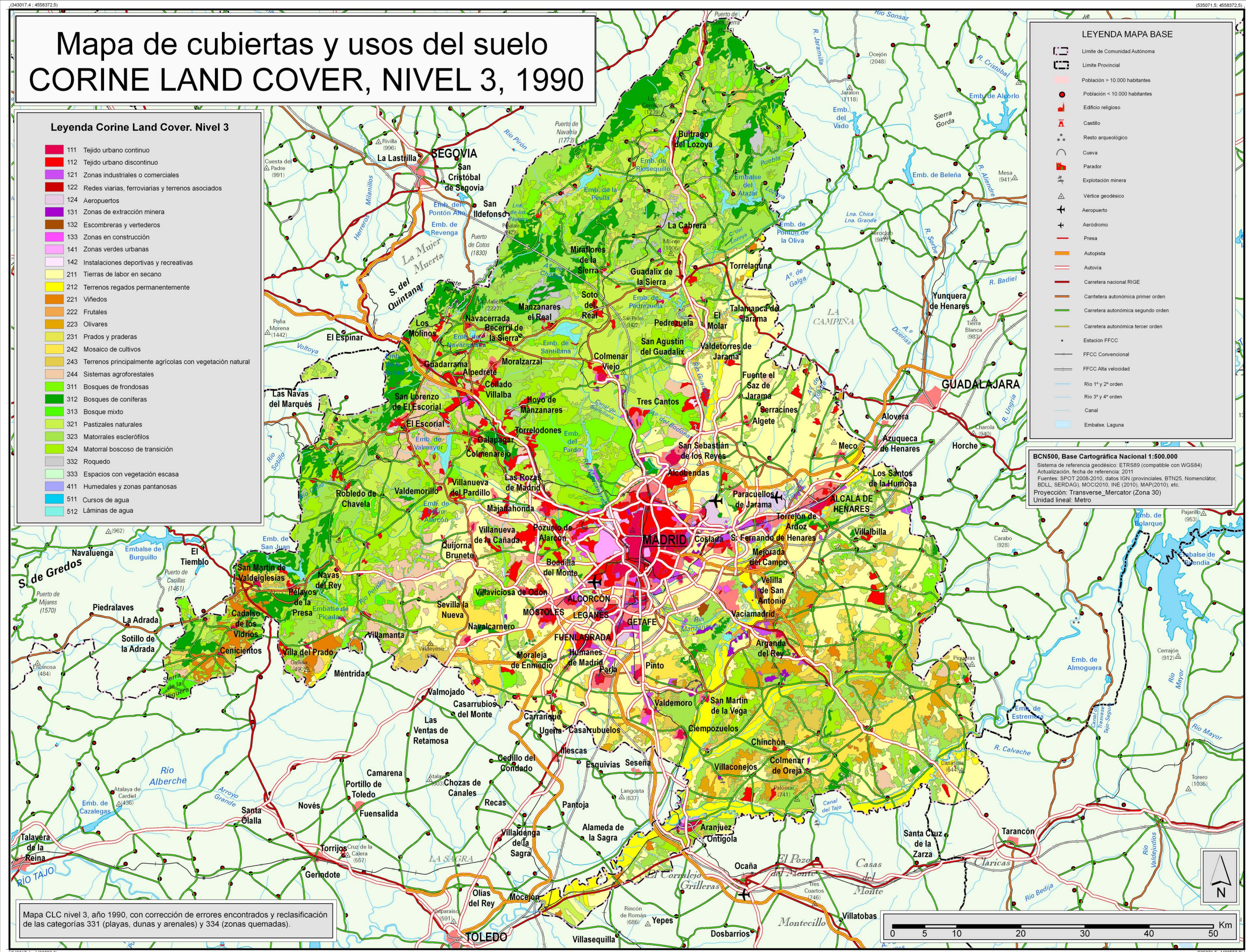


Figura A7-6. Mapa de usos del suelo de 1990 representado a nivel 3 de CORINE Land Cover, con errores cartográficos corregidos.

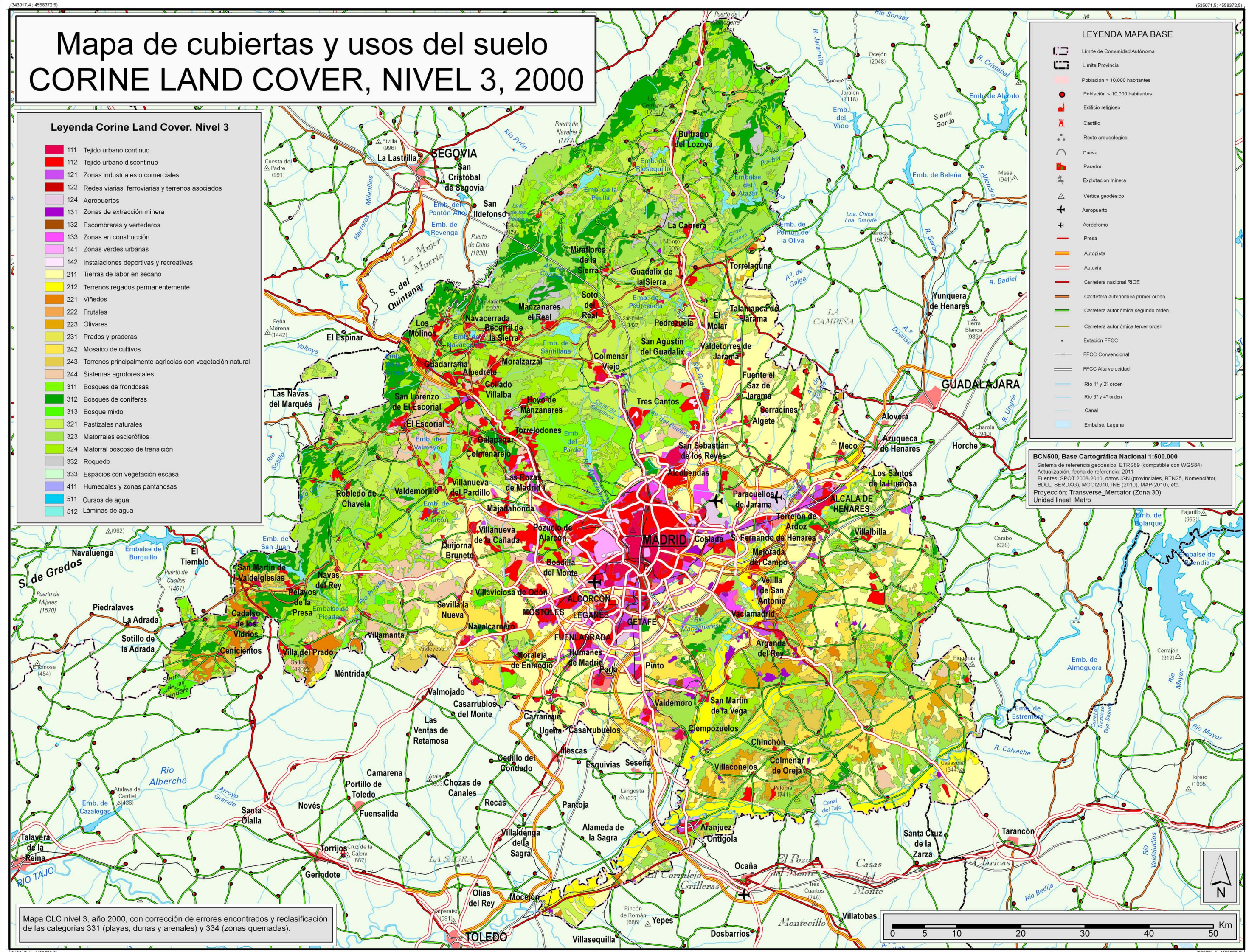


Figura A7-7. Mapa de usos del suelo de 2000 representado a nivel 3 de CORINE Land Cover, con errores cartográficos corregidos.

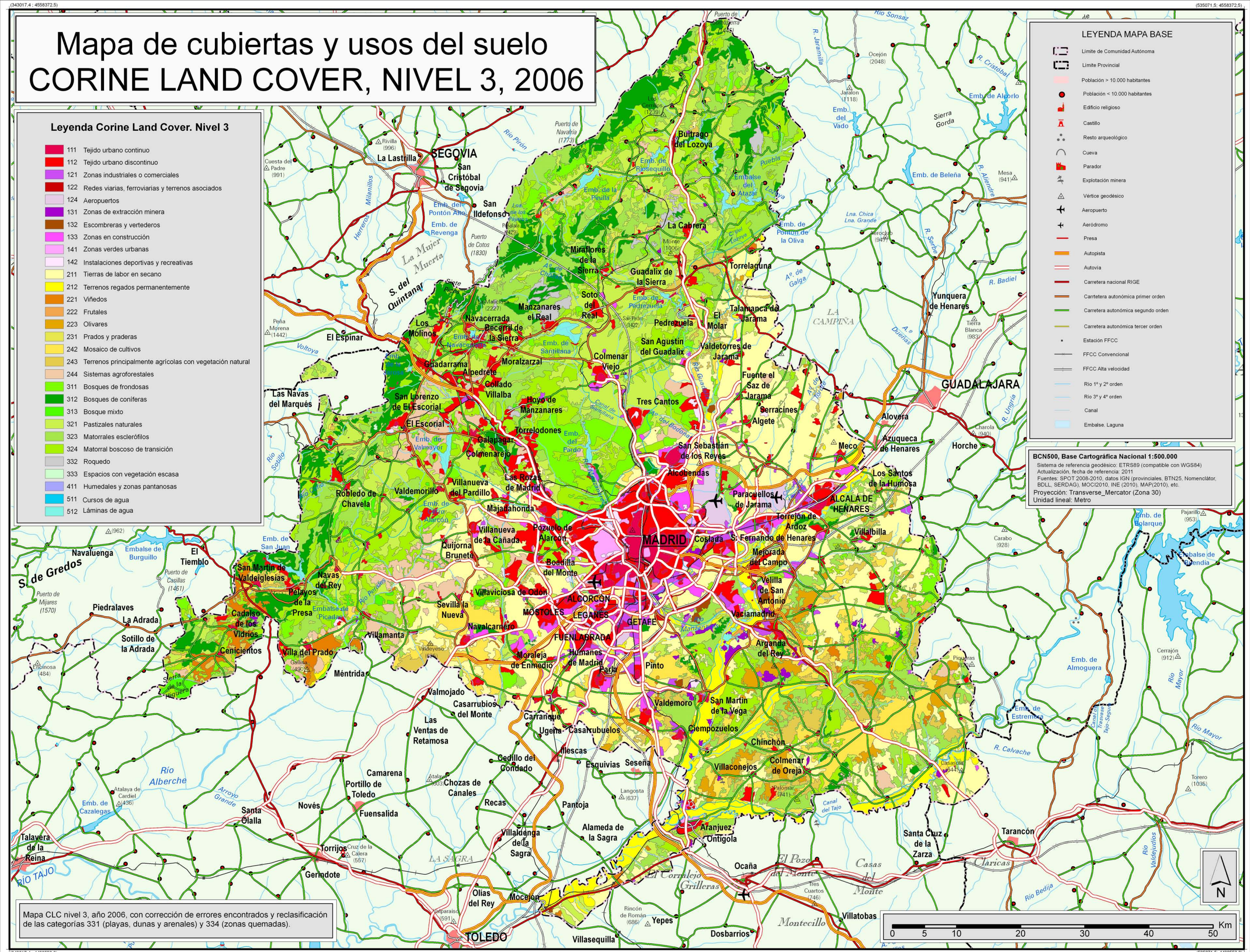


Figura A7-8. Mapa de usos del suelo de 2006 representado a nivel 3 de CORINE Land Cover, con errores cartográficos corregidos.

ANEXO 8

Se incluyen en este anexo los mapas de usos del suelo con la leyenda utilizada para hacer los escenarios futuros de usos del suelo (únicamente con 7 categorías de usos del suelo).

Están realizados para los años 1990, 2000 y 2006 en DIN A3, correspondientes con las figuras A8-1, A8-2 y A8-3.

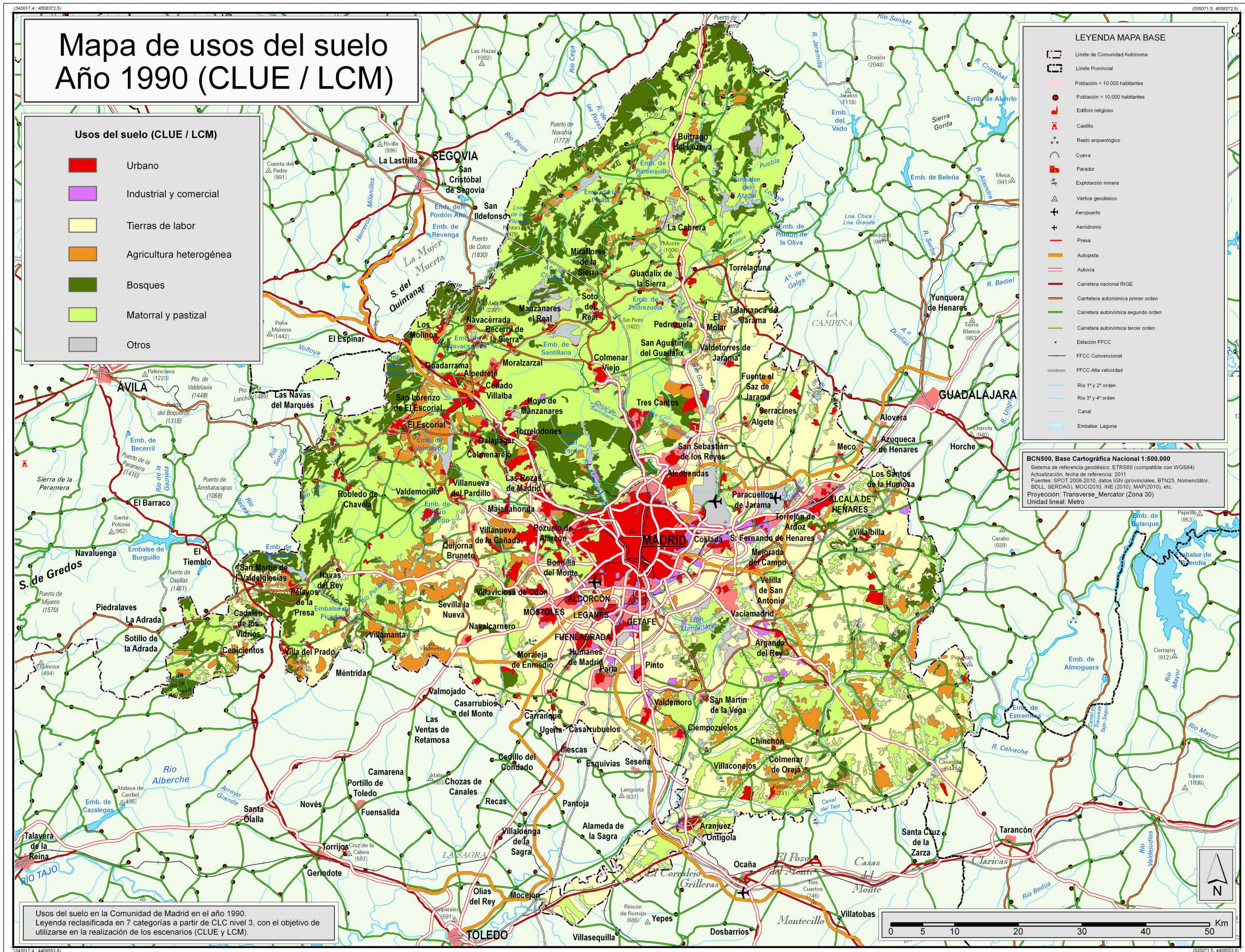


Figura A8-1. Mapa de usos del suelo de 1990 empleado para la elaboración de los escenarios a futuro. Se representan los siete usos del suelo utilizados.

